



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université Echahid Hamma Lakhdhar- EL Oued  
Faculté de la Technologie  
Département de Génie des Procédés et Pétrochimie

## MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de  
MASTER

Spécialité : génie chimique

Présenté par :

- Tedjini Fatma
- Guerricha Meriem
- Moussaoui Maroua

Production le biodiesel à partir d'huile de  
jatropha et d'huile de soja : une révision

Soutenue le 30/09/ 2020  
devant le jury composé de :

Dr : Abdelkerim Rebiai

Dr : Ben Mya Omar

Dr : Serouti Abdelghani

Président

Examineur

Encadreur

2019/2020



**Résumé:** En raison de la pollution de l'environnement et des ressources limitées en combustibles fossiles et en gaz naturel, cela a entraîné une demande accrue de biodiesel. Ainsi, la recherche de sources alternatives d'énergie renouvelable et durable a acquis une grande importance dans la plupart des pays du monde, y compris les biocarburants. Étant donné que l'huile de Jatropha ne peut pas être utilisée à des fins alimentaires sans désintoxication, ce qui permet de l'utiliser comme source d'énergie/carburant. Le but de cette étude était d'essayer d'étudier les possibilités d'utiliser l'huile de jatropha et de soja pour produire du biodiesel, et l'étude des propriétés chimiques et physiques telles que l'indice d'acide, l'indice d'iode, l'indice de saponification, la viscosité et la densité. De plus, la composition en acides gras détectée par chromatographie en phase gazeuse (GC) des deux huiles a été étudiée. L'étude a montré que les propriétés physiques et chimiques sont bonnes pour les deux huiles et peuvent être utiles comme matière première pour le biodiesel et les applications industrielles.

**Mots clé:** biodiesel, huile, biocarburants, chromatographie, propriétés chimiques

**ملخص:** بسبب التلوث البيئي وموارد الوقود الأحفوري والغاز الطبيعي المحدودة ، أدى ذلك إلى زيادة الطلب على وقود الديزل الحيوي. وبالتالي ، فإن البحث عن مصادر بديلة للطاقة المتجددة والمستدامة قد اكتسب أهمية كبيرة في معظم دول العالم ، بما في ذلك الوقود الحيوي. نظرًا لأن زيت الجاتروفا لا يمكن استخدامه للأغراض الغذائية دون إزالة السموم ، مما يسمح باستخدامه كمصدر للطاقة / الوقود. كان الهدف من هذه الدراسة هو محاولة استكشاف إمكانيات استخدام زيت الجاتروفا وزيت فول الصويا لإنتاج وقود الديزل الحيوي ، ودراسة الخواص الكيميائية والفيزيائية مثل الرقم الحمضي ، و عدد اليود ، رقم التصبن ، اللزوجة والكثافة. بالإضافة إلى ذلك ، تم فحص تركيبة الأحماض الدهنية المكتشفة بواسطة كروماتوجرافيا الغاز (GC) للزيتين، و أظهرت الدراسة أن الخصائص الفيزيائية والكيميائية جيدة لكلا الزيتين ويمكن أن تكون مفيدة كمادة أولية للديزل الحيوي والتطبيقات الصناعية.

**الكلمات المفتاحية:** الديزل الحيوي ، الزيت ، الوقود الحيوي ، الكروماتوغرافيا ، الخصائص الكيميائية

## Remerciements

On remercie Dieu ; Que Dieu Tout-Puissant nous aide avec santé, courage et succès dans  
l'accomplissement de ce modeste travail.

Nous remercions également notre distingué professeur chargé de superviser cette mémoire,

Serouti Abdelghani, pour tous ses  
précieux efforts et conseils, qui ont un rôle efficace  
à donner une bonne image de ce travail,

et nous demandons à dieu de le placer dans l'équilibre de ses bonnes actions et de lui apporter  
santé et bien-être, Seigneur.

Nous remercions également l'administration, y compris les membres du jury, d'avoir accepté de  
juger nos travaux.

Et n'oubliez pas de remercier sincèrement tout le personnel du laboratoire.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé directement ou indirectement à  
l'élaboration de cette mémoire.

Nous demandons à Dieu de rendre nos actions bonnes et de profiter à nous et à tous ceux qui les  
lisent.



## **Dédicace**

**Nous dédions ce travail**

**À ceux qui m'ont appris que l'amour n'a pas de vie  
et que donner n'a pas de limites aux parents généreux**

**Que Dieu les protège et prenne soin d'eux**

**À tous mes frères et sœurs**

**À tous ceux qui m'ont encouragé vers la science  
à tous les niveaux scolaires À mes camarades  
et collègues de l'Université Echahid, Hamma Lakdhar.**

**Guerricha Meriem, Tedjini Fatma, Moussaoui Maroua**



# **Table des Matières**

# Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste symboles et abréviations

Introduction générale ..... 1

| Chapitre I : Généralités sur les plantes oléagineux         |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| <b>Introduction</b> .....                                   | 4  |
| <b>I.1. le soja</b> .....                                   | 4  |
| I.1.1. Historique.....                                      | 4  |
| I.1.2. Botanique.....                                       | 4  |
| 2.1. plante de soja.....                                    | 4  |
| 2.2. Les feuilles et les fleurs.....                        | 5  |
| 2.3. Les fruits.....                                        | 6  |
| 2.4. les graines.....                                       | 6  |
| 2.4.1. composition des graines de soja.....                 | 7  |
| I.1.3. L'huile de soja.....                                 | 7  |
| 3.1. La composition.....                                    | 8  |
| 3.2. Les caractéristiques physico-chimiques de l'huile..... | 8  |
| I.1.4. Tourteaux de soja.....                               | 9  |
| I.1.5. Domaines d'utilisations.....                         | 9  |
| I.1.6. Les avantages et inconvénients.....                  | 10 |
| <b>I.2. le jatropha</b> .....                               | 10 |
| I.2.1. Historique.....                                      | 10 |
| I.2.2. Description Botanique.....                           | 11 |
| 2.1. Plante de jatropha.....                                | 11 |
| 2.2. Les feuilles et les fleurs.....                        | 12 |
| 2.3. Les fruits.....                                        | 12 |
| 2.4. Les graines.....                                       | 13 |
| I.2.3. Cycle de culture.....                                | 14 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| I.2.4. L'huile de jatropha.....                                   | 15 |
| 2.4.1. La composition.....                                        | 15 |
| 2.4.2. Les caractéristiques physico-chimiques d'huile.....        | 16 |
| I.2.5. Tourteaux de jatropha.....                                 | 16 |
| I.2.6. Domaines d'utilisations.....                               | 17 |
| I.2.7. Les avantages et inconvénients.....                        | 18 |
| <b>Chapitre II : Transformation des huiles en biodiesel</b>       |    |
| <b>Introduction</b> .....                                         | 21 |
| <b>II.1. Le biocarburant</b> .....                                | 21 |
| II.1.1. Définition.....                                           | 21 |
| II.1.2. Les générations de biocarburants.....                     | 22 |
| 1.2.1. Biocarburants de première génération.....                  | 22 |
| 1.2.2. Biocarburants de deuxième génération.....                  | 23 |
| 1.2.3 Biocarburants de troisième génération.....                  | 24 |
| II.1.3. Les types de biocarburants.....                           | 25 |
| 1.3.1. le biogaz.....                                             | 25 |
| 1.3.2. le bioéthanol.....                                         | 26 |
| 1.3.3. le bio-huile (bio-oil) .....                               | 26 |
| 1.3.4. Le biodiesel (biogazol).....                               | 26 |
| 1.3.4.1. les caractéristiques physico-chimiques de biodiesel..... | 27 |
| 1.3.4.2. les étapes de production le biodiesel.....               | 28 |
| 4.2.1. Etape de mélange des réactifs.....                         | 28 |
| 4.2.2. Etape de réaction.....                                     | 28 |
| 4.2.3. Etape de décantation.....                                  | 29 |
| 4.2.4. Etape de lavage.....                                       | 29 |
| 4.2.5. Etape de séchage.....                                      | 29 |
| 4.2.6. La neutralisation du glycérol.....                         | 29 |
| 1.3.4.3. méthodes de production de biodiesel.....                 | 30 |
| <b>II.2. La transestérification d'huile</b> .....                 | 30 |
| II.2.1. la Réaction de transestérification.....                   | 30 |
| II.2.2. les différentes les alcools utilisés.....                 | 31 |
| II.2.3. les différentes les catalyseurs utilisés.....             | 32 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.1. Les catalyses homogènes.....                             | 32 |
| 2.3.2 .Les catalyses hétérogènes.....                           | 34 |
| II.2.4. Les facteurs influençant de transestérification.....    | 36 |
| II.3. Domaines d'utilisation.....                               | 37 |
| II.4. Les avantages et inconvénients.....                       | 37 |
| <b>Chapitre III : Matérielles, Méthodes et Discussion</b>       |    |
| <b>Introduction</b> .....                                       | 41 |
| <b>1. Matérielles</b> .....                                     | 41 |
| 1.1. Préparation des grains de jatropha et de soja.....         | 41 |
| 1.2. L'extraction des huiles de jatropha et de soja .....       | 41 |
| 1.2.1. Le rendement :.....                                      | 42 |
| <b>2. Méthodes</b> .....                                        | 42 |
| 2.1.La composition d'acides gras.....                           | 42 |
| 2.2. Les propriétés physico-chimiques.....                      | 44 |
| 2.2.1. les propriétés chimiques.....                            | 44 |
| 2.2.2. les propriétés physiques.....                            | 47 |
| 2.3. Production de biodiesel.....                               | 50 |
| 2.3.1. Transestérification.....                                 | 50 |
| 2.3.2. L'effets des paramètres.....                             | 52 |
| 2.3.3. les caractéristiques physico-chimiques de biodiesel..... | 54 |
| <b>3. Discussion</b> .....                                      | 55 |
| 3.1. La composition des acides gras.....                        | 55 |
| 3.2. les propriétés physico-chimiques.....                      | 55 |
| 3.2.1. les propriétés physico-chimiques des huiles.....         | 55 |
| 3.2.2. les propriétés physico-chimiques de biodiesel.....       | 58 |
| <b>Conclusion générale</b> .....                                | 62 |
| <b>Références</b>                                               |    |
| <b>Annexes</b>                                                  |    |

## Liste des tableaux

| <b>Chapitre I : Généralités sur les plantes oléagineux</b>  |                                                                                                                  |    |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau.I.1</b>                                          | Composition des graines de soja                                                                                  | 7  |
| <b>Tableau.I.2</b>                                          | Composition chimique en acide gras d'huile de soja                                                               | 8  |
| <b>Tableau.I.3</b>                                          | Caractéristiques physico-chimiques d'huile de soja                                                               | 8  |
| <b>Tableau.I.4</b>                                          | Compositions des graines de jatropha curcas.L                                                                    | 14 |
| <b>Tableau.I.5</b>                                          | Composition en acides gras d'huile de jatropha                                                                   | 15 |
| <b>Tableau.I.6</b>                                          | Comparaison des propriétés d'huile de jatropha, de l'ester méthylique d'huile de jatropha et du carburant diesel | 16 |
| <b>Tableau.I.7</b>                                          | Usages des parties de J. curcas                                                                                  | 17 |
| <b>Chapitre II : Transformation des huiles en biodiesel</b> |                                                                                                                  |    |
| <b>Tableau.II.1</b>                                         | Propriétés physiques comparées entre les huiles, leurs esters correspondants et du gazole                        | 27 |
| <b>Tableau.II.2</b>                                         | Les avantages et inconvénients des catalyseurs basiques et acides                                                | 33 |
| <b>Tableau.II.3</b>                                         | Exemples des catalyseurs acides solides utilisés pour le biodiesel                                               | 34 |
| <b>Tableau.II.4</b>                                         | Exemples des catalyseurs basiques solides utilisés pour le biodiesel                                             | 35 |
| <b>Tableau.II.5</b>                                         | Comparaison des catalyses homogènes et hétérogènes                                                               | 35 |
| <b>Chapitre III : Méthodologie, Résultats et Discussion</b> |                                                                                                                  |    |
| <b>Tableau.III.1</b>                                        | Composition en acides gras d'huile de jatropha C.L                                                               | 44 |
| <b>Tableau.III.2</b>                                        | Propriétés physico-chimiques d'huile de jatropha C.L                                                             | 50 |
| <b>Tableau.III.3</b>                                        | Caractéristiques physico-chimiques de biodiesel                                                                  | 55 |

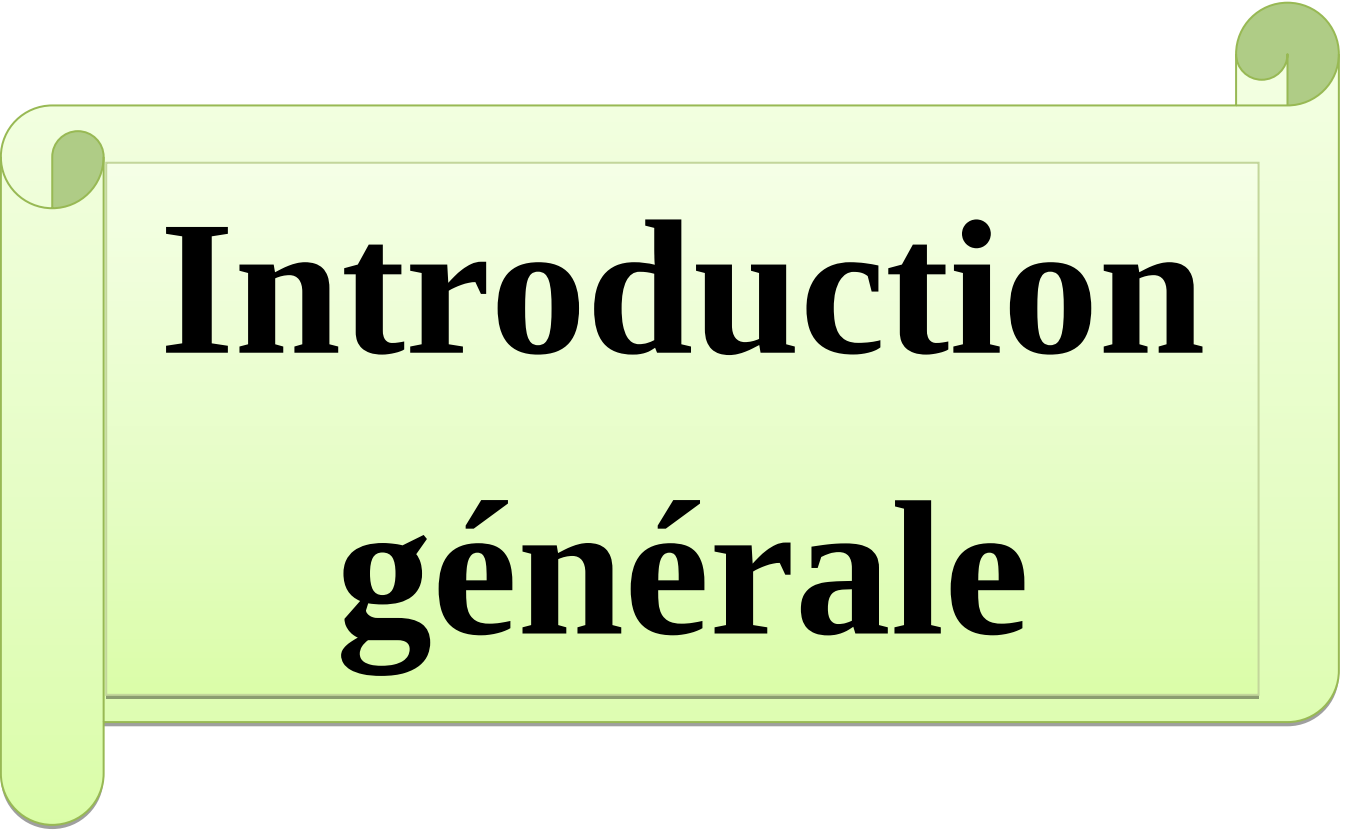
## Liste des figures

| <b>Chapitre I : Généralités sur les plantes oléagineux</b>   |                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Fig.I.1</b>                                               | La plante de soja                                                                  | 5  |
| <b>Fig.I.2</b>                                               | (A) Fleurs de soja et (B) Feuilles de soja                                         | 6  |
| <b>Fig.I.3</b>                                               | Graines de soja                                                                    | 7  |
| <b>Fig.I.4</b>                                               | Distribution de jatropha curcas .L                                                 | 11 |
| <b>Fig.I.5</b>                                               | Plante de jatropha curcas.L                                                        | 12 |
| <b>Fig.I.6</b>                                               | Fruit de jatropha curcas .L                                                        | 13 |
| <b>Fig.I.7</b>                                               | les graines de jatropha curcas                                                     | 13 |
| <b>Fig.I.8</b>                                               | cycle de culture de jatropha                                                       | 14 |
| <b>Chapitre II : Transformation des huiles en biodiesel</b>  |                                                                                    |    |
| <b>Fig.II.1</b>                                              | Filières de conversion de la biomasse en bioénergies selon les différents procédés | 25 |
| <b>Fig.II.2</b>                                              | Réaction générale de la transestérification                                        | 30 |
| <b>Fig.II.3</b>                                              | mécanisme de la réaction de la transestérification                                 | 31 |
| <b>Chapitre III : Méthodologies, Résultats et Discussion</b> |                                                                                    |    |
| <b>Fig.III.1</b>                                             | Schéma simplifié de la réaction de transestérification                             | 43 |
| <b>Fig.III.2</b>                                             | La réaction de saponification                                                      | 45 |
| <b>Fig.III.3</b>                                             | le chemin principe de Production de biodiesel                                      | 50 |
| <b>Fig.III.4</b>                                             | équation générale de la transestérification                                        | 51 |
| <b>Fig.III.5</b>                                             | les étapes de la production de biodiesel                                           | 52 |

## Liste symboles et abréviations

|                                        |                                               |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>L</b>                               | Linnaeus                                      |
| <b>cm</b>                              | Centimètre cube                               |
| <b>mm</b>                              | Millimètre                                    |
| <b>mg</b>                              | Milligramme                                   |
| <b>kg/m<sup>3</sup></b>                | Kilogramme par mètre cube                     |
| <b>mm<sup>2</sup>/s</b>                | Millimètre Carré par Seconde                  |
| <b>°C</b>                              | Degré Celsius                                 |
| <b>mg KOH/g</b>                        | Milligramme de Hydroxyde Potassium par gramme |
| <b>MJ. Kg<sup>-1</sup></b>             | Méga joule par kilogramme                     |
| <b>g/100 g</b>                         | Gramme par sons gramme                        |
| <b>mg. g<sup>-1</sup></b>              | Milligramme par gramme                        |
| <b>ans</b>                             | Années                                        |
| <b>kg /ha/an</b>                       | Kilogramme par hectares par année             |
| <b>MEHJ</b>                            | Méthyle Ester de l'Huile Jatropha             |
| <b>ASTM</b>                            | American Society for Testing and Materials    |
| <b>EN</b>                              | Européens National                            |
| <b>CO<sub>2</sub></b>                  | Dioxyde de Carbone                            |
| <b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>     | acide sulfurique                              |
| <b>NaOH</b>                            | hydroxyde de sodium                           |
| <b>KOH</b>                             | hydroxyde potassium                           |
| <b>CH<sub>3</sub>OH</b>                | Le méthanol                                   |
| <b>EMHV</b>                            | Ester Méthyliques d'Huiles Végétales          |
| <b>CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>-OH</b> | Ethanol                                       |
| <b>FFA</b>                             | Free Faty Acides                              |
| <b>I<sub>s</sub></b>                   | L'indice de saponification                    |
| <b>m</b>                               | La masse                                      |
| <b>c</b>                               | Le concentration                              |
| <b>V</b>                               | Le volume                                     |
| <b>I<sub>A</sub></b>                   | L'indice d'acide                              |
| <b>I<sub>i</sub></b>                   | L'indice d'iode                               |

|                           |                                                                                          |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><math>N_D^T</math></b> | L'indice de réfraction                                                                   |
| <b>T</b>                  | Température                                                                              |
| <b>F</b>                  | Facteur de correction                                                                    |
| <b>D<sup>20</sup></b>     | Densité à 20°c                                                                           |
| <b>ml</b>                 | Millilitre                                                                               |
| <b>PCI</b>                | Pouvoir Calorifique Inférieur                                                            |
| <b>PCS</b>                | Pouvoir Calorifique Supérieur                                                            |
| <b>d</b>                  | La distance                                                                              |
| <b>n</b>                  | Le rendement                                                                             |
| <b>pH</b>                 | Potentielle d'Hydrogène                                                                  |
| <b>g/l</b>                | Gramme par litre                                                                         |
| <b>p / p</b>              | Pois par Pois                                                                            |
| <b>%</b>                  | Pourcentage                                                                              |
| <b>xx: y</b>              | indique xx atomes de carbone dans la chaîne d'acides gras avec des doubles<br>liaisons y |
| <b>AGLs</b>               | Acides Gras Libres                                                                       |



# **Introduction générale**

## **Introduction générale**

En raison de la grande consommation de combustibles fossiles depuis le siècle dernier et jusqu'à nos jours, elle a conduit à l'émergence d'un grave réchauffement climatique et d'une pollution environnementale (Koh et Ghazi, 2011). Et le principal gaz qui contribue au réchauffement climatique est le dioxyde de carbone, qui est principalement émis par la combustion de combustibles fossiles. Ainsi, la recherche de sources alternatives d'énergie renouvelable et durable a acquis une grande importance dans la plupart des pays du monde, y compris les biocarburants. Ce qui est considéré comme l'une des sources d'énergie renouvelables, qui représente l'alternative la plus appropriée au fonctionnement des moteurs à combustion interne au lieu du carburant diesel (Dr. Obaid Majeed, 1997). En raison de son utilisation dans tous les domaines où il peut être transporté et stocké, il s'agit d'une source renouvelable et sûre en plus de son coût bon marché par rapport à d'autres sources d'énergie renouvelables (Sana et Khaoula, 2019). De plus, les propriétés des biocarburants sont proches de celles du carburant diesel, ce qui en fait la meilleure alternative aux moteurs diesel actuellement utilisés (Dr. Obaid Majeed, 1997).

La diversité et la disponibilité des sources de biocarburants sont l'un des facteurs les plus importants qui ont encouragé l'étude de l'utilisation généralisée des biocarburants dans toutes les régions du monde. Où le biodiesel est facilement produit à partir de sources biologiques renouvelables, telles que les huiles végétales et les graisses animales (Dr. Obaid Majeed, 1997). Le jatropha et le soja sont parmi les cultures importantes à convenir pour la production de biodiesel. Le jatropha présente de nombreux avantages, car il peut pousser dans les régions arides et semi-arides. Il nécessite peu d'eau et d'engrais et peut survivre dans un sol stérile. Il est également résistant aux ravageurs et a un rendement élevé en graines, avec une durée de vie de 30 à 40 ans, et la teneur en huile des graines de jatropha est d'environ 30 à 40% (sarin et al, 2007). Par conséquent, le but de cette étude était d'essayer d'étudier les possibilités d'utiliser l'huile de jatropha et de soja pour produire du biodiesel comme alternative aux combustibles fossiles.

Les biocarburants sont produits par transestérification à l'aide d'alcools (le méthanol et l'éthanol sont le plus souvent adoptés) en présence d'un catalyseur basique ou acide en fonction de la teneur en acides gras libres de la matière première (Cuong Nguyen, 2010).

Notre étude est divisée en trois chapitres comme suit :

Le premier chapitre était une étude théorique du jatropha et du soja, tandis que le second chapitre, l'huile était convertie en biodiesel par transestérification. Quant au troisième chapitre, un examen complet de certaines études antérieures a été effectué et discuté.



# Chapitre I

Les plantes oléagineuses sont ceux qui servent à produire industriellement de l'huile et qui sont cultivés dans ce but. Parmi les plantes cultivées pour leur huile, on cite : l'arachide, l'olivier, le colza, le ricin, le soja, le jatropha et le tournesol. En général toutes les graines contiennent de l'huile. Et puisque les plantes sont une source importante pour les humains dans divers domaines tels que la médecine, les industries pharmaceutiques, les chimies industrielles, les industries alimentaires et autres. Pour cela, des huiles végétales sont extraites de ces graines pour être utilisées dans l'un de ces domaines.

Avant d'entamer tout détail pratique concerne cette étude, une synthèse bibliographique est présentée dans ce chapitre. Donc, le soja et le jatropha sont constituantes matières premières utilisées dans ce travail.

## **I.1. Le soja**

### **I.1.1. Historique :**

Le soja a été cultivé pour la première fois entre 1700 et 1100 avant J-C en Chine comme engrais vert pour enrichir le sol. Ce qui a principalement contribué à la diffusion de la civilisation chinoise avec le riz, le blé et l'orge, grâce à la richesse nutritionnelle des graines.

Aujourd'hui, les produits à base de soja sont très populaires dans le monde entier. Cette renommée s'explique par l'origine naturelle du soja et la facilité d'accès aux semences sur le marché, le soja étant reconnu depuis longtemps comme un aliment utile à la santé humaine. Qui est classé comme un régime à base de soja pauvre en acides gras saturés et en cholestérol, et qui vient en calories beaucoup moins que les aliments qui dépendent de la viande et des produits laitiers.

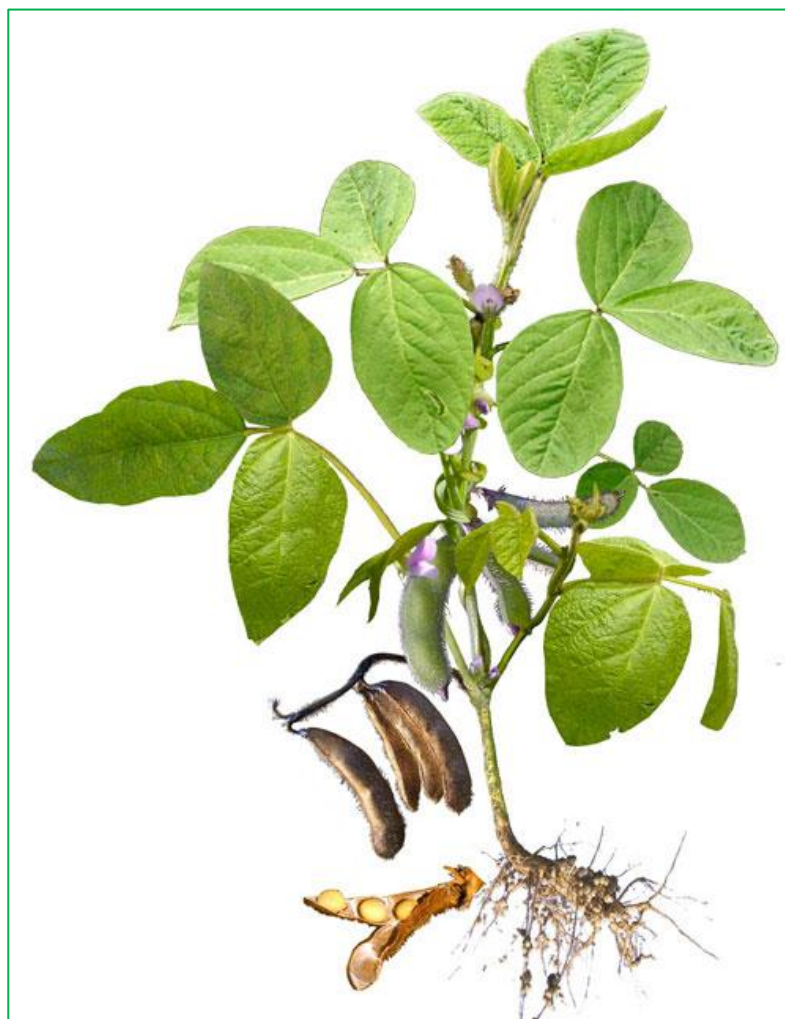
Depuis que le soja est devenu populaire ces dernières années, nous trouvons maintenant divers produits à base de soja. Tels que, des huiles, du lait, des farines et des aliments pour animaux...etc ([Labat, 2013](#)).

### **I.1.2. Botanique :**

#### **2.1. Plante de soja :**

Le soja, l'espèce *Glycine max* (L) Merrill, est une plante herbacée annuelle velue, appartenant à l'arrangement Fables, à la famille des légumineuses, une sous-famille des Fabacées (ou Papilionacées), de la tribu des Phaseoleae, du genre *Glycine* L. Les

graines de soja ont généralement des traits végétatifs et reproductifs caractéristiques la famille des fabacées comme dans la (Fig.I.1) (Wahiba, 2015).



**Fig.I.1 :** La plante de soja (Roulier, février 2012).

## 2.2. Les feuilles et les fleurs :

La plante est verte (feuilles, tiges et gousses) recouverte de poils fins gris ou bruns. Les tiges sont longues, droites de 30 à 130 cm. feuilles à trois angles (contiennent rarement cinq folioles) et prennent la forme générale des haricots. La longueur des tiges est de 6 à 15 cm et la largeur de 2 à 7 cm. Comme pour les haricots, les deux premières feuilles apparaissent toutes en face. Les feuilles tombent avant des siècles pendant la maturation (Fig.I.2 B).

Les fleurs sont de couleur blanche ou violette, petites, presque inaperçues, montrant des feuilles sous les aisselles groupées en groupes de trois à cinq. Elle est hermaphrodite et autogame, mais la pollinisation croisée est tout à fait possible (Fig.I.2 A)(Hamza & Riad, 2013).



**Fig.I.2 :** (A) Fleurs de soja (LATIFA, 2014) et (B) Feuilles de soja(Hamza & Riad, 2013).

☞ Ses fleurs sont blanches ou violettes se transforment plus tard en gousses longues, poilues. La période de floraison débute en juillet et dure environ 3-4 semaines. Les graines sont des gousses de 3 à 4 cm de long qui peuvent être jaunes, grises ou noires. Dans chaque follicule, il y a 2 à 4 graines qui renferment environ 17% de l'huile. La période de récolte de septembre à octobre(Boubekeur, 2016).

### 2.3. Les fruits :

Ce sont des gousses velues, de 3 à 8 cm, de couleur foncée à maturité, et contiennent généralement 2 à 4 graines. Les graines sont de formes sphériques ou elliptiques et ont un diamètre variant généralement de 5 à 11 mm (Yacouba, 2017).

### 2.4. Les graines :

Les graines de soja sont des graines oléagineuses qui sont la principale source d'huile dans le monde et sont des légumineuses riches en protéines. Les graines peuvent être transformées en farine pour la consommation humaine ou en tourteaux pour animaux. Ou l'huile pour synthèse le biodiesel ou la consommation humaine (LATIFA, 2014). La graine se compose essentiellement d'une enveloppe lisse (la coque) et d'un embryon. Sa taille varie généralement entre 5 et 10 mm de diamètre et son poids (selon les variétés) oscille entre 50 et 400 mg. La forme de la graine varie selon les cultivars (Fig.I.3) (Sabiha, 2016).



Fig.I.3 : Graines de soja (Roulier, février 2012).

#### 2.4.1. La composition des graines de soja :

Le soja est une légumineuse dont les grains sont riches en protéine. Elles contiennent en moyenne :

- a) **Les lipides** : l'huile de soja contient environ 60% d'acides gras polyinsaturé dont 8% d'oméga 3 et environ 25% d'acides gras mono insaturés. On trouve une lécithine qui a un pouvoir émulsifiant intéressant.
- b) **Les protéines** : sont bien équilibrées en acides aminés essentiels.
- c) **Les glucides** : sont essentiellement formés de molécules complexes non assimilables (fibres), d'amidon et d'un peu de saccharose (5%). Il n'y pas de lactose.
- d) **Les minéraux et vitamines** : vitamine B, E, fer, phosphore, potassium, et peu de calcium, des oligoéléments dont le manganèse, le zinc, et le cuivre, les compositions des graines dans le (Tableau.I.1) (B, p21, 2010).

Tableau.I.1 : composition des graines de soja (B.Ouarda, 2012).

| Constituants | Protéine | Lipide | Glucide | Matière minérale |
|--------------|----------|--------|---------|------------------|
| Pois totale  | 34.3%    | 18.7%  | 31.6%   | 4.5%             |
| Pois sec     | 40-45%   | 17-22% | 38.4%   | 5.1%             |

#### I.1.3. L'huile de soja :

Soja liquide avec une couleur jaune assez foncé ou selon la nature de la plante et les processus d'extraction ou la fraîcheur des graines, la saveur des haricots est si claire qu'ils s'estompent progressivement. Riche dans les acides gras, en particulier en acides gras essentiels (Sabiha, 2016).

### 3.1. La composition :

L'huile de soja est l'une des huiles les plus pauvres en acide gras saturé, elle est riche en acide gras insaturé les principaux acides gras sont : linoléique (53.2) et oléique (23.4) ainsi qu'acide palmitique, linoléique et stéarique ses compositions respectivement (11, 7.8, 4) comme dans le (Tableau.I.2) (Sarin et al, 2007).

**Tableau.I.2** : composition chimique en acide gras de l'huile de soja (Sarin et al, 2007).

| Acide gras            | Nom systématique                     | Huile de Soja |
|-----------------------|--------------------------------------|---------------|
| Myristique (C14:0)    |                                      | 0.1           |
| Palmitique (C16:0)    | Hexadecanoic                         | 11.0          |
| Palmitoléique (C16:1) |                                      | 0.1           |
| Stéarique (C18:0)     | Octadecanoic                         | 4.0           |
| Oléique (C18:1)       | cis-9-Octadecenoic                   | 23.4          |
| Linoléique (C18:2)    | cis-9,cis-12-Octadecadienoic         | 53.2          |
| Linoléique (C18:3)    | cis-9,cis-12,cis-15-Octadecatrienoic | 7.8           |
| Arachidique (C20:0)   |                                      | 0.3           |
| Béhénique (C22:0)     |                                      | 0.1           |
| Saturation (%)        |                                      | 15.5          |
| Insaturations (%)     |                                      | 84.5          |

### 3.2. Les caractéristiques physico-chimiques d'huile :

Le tableau.I.3 représenté les caractéristiques physico-chimiques d'huile de soja

**Tableau.I.3** : caractéristiques physico-chimiques d'huile de soja (Barnwal et al, 2005; Gunstone, 2009; Lambert, 2005).

| Propriétés                                  | Huile de soja |
|---------------------------------------------|---------------|
| Densité à 15° C (kg/m <sup>3</sup> )        | 913.8         |
| Viscosité à 40 °C (mm <sup>2</sup> /s)      | 32.9          |
| Point de rupture ° C                        | 254           |
| Indice d'acide (mg KOH/g)                   | 0.2           |
| Valeur calorifique MJ. Kg <sup>-1</sup>     | 38.038        |
| Indice de cétane                            | 37.9          |
| Indice d'iode (g/100 g)                     | 124-139       |
| Saponification value (mg. g <sup>-1</sup> ) | 189-195       |
| L'indice de réfraction (40°c)               | 1.466-1.470   |

**I.1.4. Tourteaux de soja :**

Le tourteau de soja est le résidu solide de l'extraction d'huile des graines de soja. Ce tourteau est largement utilisé en alimentation animale après cuisson pour lui conférer des antioxydants et éliminer les mycotoxines potentielles. En effet, elle est à la pointe du monde dans les aliments concentrés à base de protéines, première source de nutrition animale (Labat, 2013).

**I.1.5. Domaines d'utilisations :**

En raison de son importance, il est utilisé comme suit :

- Les feuilles vertes, les fanes et les résidus (tourteau) sont utilisés pour nourrir le bétail.
- Les graines sèches sont données après conversion de la farine pouvant être utilisée dans diverses préparations, et fournit également la deuxième huile comestible la plus utilisée au monde après l'huile de palme.
- Au niveau national, les produits à base de soja commercialisés sont: Beignets, couscous, fromage, farine pour bébé, huiles et lait de soja (Yacouba, 2017).
- En industriel soja riche en protéine en fait un produit de choix pour l'industrie agroalimentaire. En effet les protéines représentent la plus grande part de la graine soit 34% du poids total ou 40 % du poids sec.
- Farines après avoir été nettoyées et décortiquées puis fragmentées, les graines de soja sont grillées puis délipidées à l'aide d'un solvant, l'hexane, jusqu'à contenir moins de 1% de lipides, puis sont finement broyées. La farine obtenue est très utilisée en boulangerie.
- Quelle que soit l'utilisation des aliments, l'huile de soja est devenue le principal aliment de base pour la production de biodiesel utilisé spécifiquement au Brésil (80% des biocarburants brésiliens). Il fait également partie de la composition de produits vitaux tels que les solvants non toxiques et les encres d'imprimantes.
- Les tourteaux sont largement utilisés dans l'alimentation animale après la cuisson pour désactiver les facteurs antinutritionnels et les mycotoxines potentielles. En fait, c'est la première classe d'aliments concentrés et la principale source de protéines animales (Labat, 2013).

**I.1.6. Les avantages et inconvénients :****A. Les avantages :**

- ☞ Disponible en grande quantité, faible coût et polyvalent.
- ☞ Il est considéré comme une source de production de biocarburants pour réduire la proportion de pollution environnementale.
- ☞ Sa culture est devenue vaste. Bien que la production de soja en Afrique reste faible à l'échelle mondiale (0,6%), le soja est une source importante pour de nombreux pays qui en produisent.
- ☞ Il joue également un rôle important dans le maintien de la fertilité des sols agricoles, car il apporte une contribution spécifique à l'azote en stabilisant et en fixant une partie de l'azote dans l'atmosphère.
- ☞ Enfin elles servent également de cultures des fourrages, d'engrais verts et elles produisent un grand nombre de composés utiles. Tels que, des médicaments, des poisons, des teintures et des parfums (Yacouba, 2017).

**A. Les inconvénients :**

- ☞ Réduire le niveau de sécurité alimentaire lorsqu'il est utilisé comme ressource pour la production de biocarburant (Yacouba, 2017).

**I.2. le jatropha****I.2.1. Historique du jatropha :**

Le jatropha curcas fait partie des sources d'énergie issues de la biomasse. Il occupe une place de choix, car sa culture et son exploitation ne présentent aucun défaut par rapport à l'huile de navet, de tournesol, de soja ou de palme. Son huile est non comestible produit d'huile aux mêmes propriétés que le biodiesel. Il est appelé "or vert" (Van, 2010).

Le jatropha est un arbre tropical originaire d'Amérique du Sud et d'Amérique centrale et du Mexique, à partir duquel les arbustes se sont répandus dans de nombreuses régions sèches, semi-arides et tropicales du monde, regarde la (Fig.I.4), cet arbre est situé le long de la ceinture de savane avec intensité et se propage dans de nombreux pays, il y compris le Soudan, et il a réussi sur le cadre expérimental, et il a une grande capacité de croissance et de propagation dans tous les environnements agricoles et la plupart des types des sols, et supporte les types de sécheresse les plus

sévères, ce qui rend la propagation de sa culture très facile, même dans les déserts secs, les terres arides, le long des routes et les terres pierre et toutes les terres qui ne conviennent pas à l'investissement dans les cultures traditionnelles.

Le jatropha supporte une salinité élevée et des degrés plus froids inférieurs à zéro, et peut être irrigué avec des eaux usées traitées ou des eaux usées agricoles très salines, et n'a pas besoin de beaucoup d'eau pour l'irrigation, il n'a pas besoin de plus de 250 mm d'eau pendant l'année (Emira, 2018).



**Fig.I.4 :** Distribution de jatropha curcas. L (Diakité, 2018).

## I.2.2. Description botanique :

### 2.1. Plante de jatropha :

*Jatropha curcas* est un grand arbuste aux branches étroites qui peut atteindre une hauteur de 5 à 6 mètres, est une plante du sous règne des Phanérogames, une branche d'Angiospermes de la classe Magnoliopsida, la sous- classe de Rosidae, de l'ordre des Euphorbiales et de la famille de Euphorbiaceae (Fig.I.5). Cette plante fait partie de la sous-famille de Crotonoideae, qui compte environ 8 000 espèces réparties dans plus de 300 genres. Le genre jatropha – du grec Jatros, « médecin » et trophé « nourriture » appartient à la tribu Joannesieae qui comprend environ 170 espèces, ont réétudié la subdivision faite par Pax (1910), dont les deux tiers sont originaires d'Amérique latine. Pourtant, le nom curcas semble être le nom vernaculaire donné à la plante sur la côte de Malabar, dans la région sud-ouest de l'Inde. En Afrique, jatropha est aussi appelé pourghère; ou tabanani en sénégalais; ou bagani (« poison ») en bambara à cause de sa

toxicité; ou frofrobaka en Godié et "apromprom" en Baoulé, deux ethnies de Côte d'Ivoire, Les arbustes produisent des fruits pendant 40 à 50 ans (Diakité, 2018; Van, 2010).



**Fig.I.5 :** Plante de jatropha curcas.L (Roulier, février 2012).

## 2.2. Les feuilles et les fleurs :

Les feuilles sont vertes, blanches, pentagonales, lenticulaires, non dentées, de 8,5 cm de long et de large, sans cils et similaires aux feuilles de vigne. La longueur du cou de la feuille atteint environ 11 cm. La plante est monochromatique.

Les fleurs sont inégales. Il a deux bobines distinctes de cinq dans chaque colonne unique de l'androecium, et proches l'une de l'autre dans le gynécée, les trois sous-espèces sont associées aux deux tiers environ de leur longueur (Diakité, 2018).

## 2.3. Les fruits :

Le fruit est une capsule sphérique d'environ 4 cm de long et 3 cm d'épaisseur, avec trois sections distinctes contenant chacune une graine. Le fruit vert lorsqu'il se forme, puis jaune et devient rouge-noir ridé et rugueux, chaque fruit contient 1 à 3 graines qui ressemblent aux graines de ricin. Les fruits secs et mûrs restent sur la plante et libèrent rarement les graines, même en tombant au sol. Le poids moyen des fruits mûrs est de 2,16 g (Fig.I.6) (Diakité, 2018).



**Fig.I.6 :** Fruit de jatropha curcas. L (Roulier, février 2012).

#### 2.4. Les graines :

Les graines sont noires marbré ou brunes foncé marbré. Sa longueur varie entre 1,5 cm et 2,5 cm, et une épaisseur entre 0,8 cm et 1,2 cm. les graines représentent 53 à 62% du poids des fruits secs et 15% du fruit frais comme dans (Fig.I.7).

Les graines contiennent environ 20% des acides gras saturés et 80% des acides gras insaturés et donner 25 à 40% du poids de l'huile. Il contient environ 37% de l'écale et 63% du noyau comme le montre dans (Tableau.I.4) (Diakité, 2018).



**Fig.I.7 :** les graines de jatropha curcas (Roulier, février 2012).

Tableau.I.4 : Compositions des les graines de jatropha curcas (Van, 2010).

| Composés                | Graines avec écales (%) | Graines sans écales (%) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Matière sèche           | 94,23                   | 92,00                   |
| Eruption                | 3,17                    | 3,96                    |
| Matière sèche organique | 91,06                   | 88,16                   |
| Protéine                | 17,08                   | 22,24                   |
| Huile brute             | 34,38                   | 54,38                   |
| Fibre brute             | 22,96                   | 2,21                    |
| Amidon                  | 0,04                    | 0,15                    |
| Sucre                   | 2,67                    | 3,30                    |
| Hémicellulose           | 3,22                    | 0,18                    |
| Cellulose brute         | 13,98                   | 2,91                    |
| Lignine                 | 14,25                   | 0,17                    |

### I.2.3. Cycle de culture :

Cette plantation pérenne que l'arbre commence à produire au cours de la première année fleurit après 120 jours de semis au début de la saison des pluies, et s'étend indéfiniment et les fruits apparaissent après 180 jours et mûrissent après 60 jours de floraison, preuve que la plante est capable de produire pendant 30 ans. Certains rapports indiquent également que la productivité oscille environ 2000 et 5000 kg de grains /ha/an (Fig.I.8) présente le cycle de la culture de jatropha (Rousset, 2008).

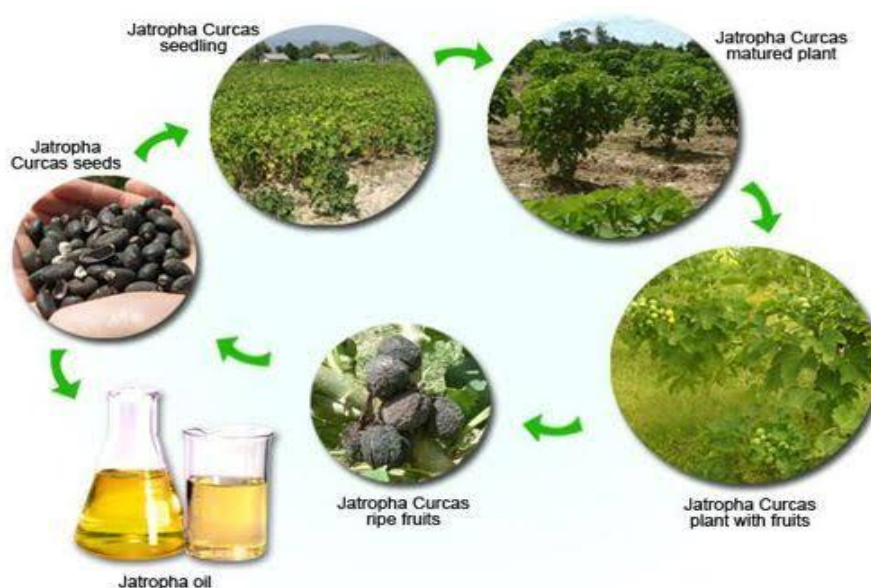


Fig.I.8 : cycle de culture de jatropha (Alamine, 2011 ).

### I.2.4. Huile de jatropha :

Beaucoup le considèrent comme une source potentielle de biodiesel idéal. L'huile de *Jatropha curcas* filtrée peut être utilisée comme biocarburant dans des nombreux véhicules avec un moteur diesel avec seulement des modifications mineures requises pour le moteur. Il peut également être utilisé comme substitut du kérosène comme biocarburant pour le chauffage et les lampes. Son structure chimique dans l'annexe (2) (Van, 2010).

#### 2.4.1. La composition :

L'huile de jatropha contient plus de 75% d'acides gras insaturés, qui se reflètent dans le point de coulée et le point de nuages d'huile. Les acides gras d'huile sont constitués d'acide oléique (C18 : 1) et d'acide linoléique (C18 : 2). la composition en acides gras comme dans le (tableau.I.5) (Van, 2010).

**Tableau.I.5 :** Composition en acides gras de l'huile de jatropha (Sarin et al., 2007).

| Acide gras         | Nom chimique des acides gras         | Structure | Formule                                        | w <sub>i</sub> |
|--------------------|--------------------------------------|-----------|------------------------------------------------|----------------|
| <b>Palmitique</b>  | Hexadecanoic                         | 16:0      | C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub> | 14.2           |
| <b>Stearique</b>   | Octadecanoic                         | 18:0      | C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub> | 6.9            |
| <b>Oleique</b>     | cis-9-Octadecenoic                   | 18:1      | C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub> | 43.1           |
| <b>Linoleique</b>  | cis-9,cis-12-Octadecadienoic         | 18:2      | C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub> | 34.4           |
| <b>Linolenique</b> | cis-9,cis-12,cis-15-Octadecatrienoic | 18:3      | C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub> | 0.2            |

## 2.4.2. Les caractéristiques physico-chimiques d'huile :

**Tableau.I.6 :** Comparaison des propriétés d'huile de jatropha, de l'ester méthylique, d'huile de jatropha et du carburant diesel (B.Ouarda, 2012; KERRAS et al, 2018; Lang & Elhaj, 2013; Silitonga et al, 2011; Tiwari et al, 2007).

| Propreté                 | Unité               | Huile de jatropha | MEHJ    | Diesel  | ASTM D6751-02 | EN 14214 |
|--------------------------|---------------------|-------------------|---------|---------|---------------|----------|
| Densité à 15 °C          | Kg / m <sup>3</sup> | 920               | 864     | 850     | 875-900       | 860-900  |
| Viscosité à 40°C         | mm <sup>2</sup> / s | 35.4              | 4.84    | 2.60    | 1.9-6.0       | 3.5-5.0  |
| Flash point              | °C                  | 225               | 135     | 70      | > 403         | > 393    |
| Pour point               | °C                  | -6                | -6 - 2  | -20     | -             | -        |
| L'eau contient           | %                   | 5                 | Nil     | 0.02    | < 0.03        | < 0.05   |
| Ash contient             | %                   | 0.7               | Nil     | 0.01    | < 0.02        | < 0.02   |
| Carbone résidu           | %                   | 0.3               | 0.025   | 0.17    | -             | < 0.3    |
| Sulfure contient         | %                   | 0.02              | Nil     | -       | 0.05          | -        |
| Valeur d'Acide           | mg KOH / g          | 11                | 0.496   | 0.062   | < 0.08        | < 0.5    |
| Valeur de Iode           | -                   | 101               | 108.4   | -       | -             | -        |
| Valeur de Saponification | -                   | 195               | 202     | -       | -             | -        |
| Valeur calorifique       | MJ / Kg             | 38.65             | 40 - 42 | 42 - 46 | -             | -        |
| Nombre de cétane         | -                   | 23                | 51      | 40 - 55 | -             | -        |

## I.2.5. Tourteaux de Jatropha :

Le tourteau de jatropha contient une teneur moyenne en protéines brutes de 58,1% du poids total et une valeur énergétique de 18,2 MJ.kg<sup>-1</sup>. Dans le cas de l'extraction mécanique des graines dans leur ensemble, la teneur en huile dans les résidus sera plus élevée, en raison de la diminution de l'efficacité des machines, le résidu des graines contient 12,9% d'huile mais contient diverses toxines et ne peut donc pas être utilisé en tant qu'aliment, sauf pour fourrage (provenant de variétés non toxiques). Dans le cas de la détoxification. Cependant, les résidus d'huile peuvent également être utilisés pour produire du biogaz. En conclusion, les résidus peuvent être utilisés et recyclés comme engrais pour aider à réduire les sources de croissance du jatropha ainsi que d'autres cultures agricoles (Van, 2010).

**I.2.6. Domaines d'utilisation :**

- ☞ Une source possible de production de biocarburant comme énergie renouvelable, qui est utilisée dans l'automobile, l'éclairage et d'autres moteurs.
- ☞ L'huile de jatropha est utilisée pour production de savon, carburant, insecticide, les médicaments.
- ☞ Les résidus des fruits peuvent être utilisés comme engrais organique parce qu'ils ont riches en azote(3,2% à 3,8%), et production de biogaz, fourrage (provenant des variétés non toxiques).
- ☞ Le latex utilisé comme substance anti-inflammatoire, contient une protéase de cicatrisation, utilisations médicinales.
- ☞ Jatropha curcas est très prometteur: comme ses graines produisent entre 1500 et 1900 litres / hectare par rapport au soja, dont le rendement moyen est de 450 litres d'huile par hectare, le tournesol est de 950 litres / hectare, et le colza à 1.190 litres / hectare.
- ☞ Il est cultivé pour protéger le sol de l'érosion et comme barrière pour protéger les cultures contre les animaux, la désertification et la chaleur. le **tableau.I.7** résume l'utilisations de plante de jatropha curcas (Diakité, 2018; Van, 2010).

**Tableau.I.7 : Usages des parties de J. curcas (Diakité, 2018).**

| Partir de J.curcas L.à utiliser. |                      | Usages                                                                                            |
|----------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coques de fruits                 |                      | - combustibles, fumier vert                                                                       |
| Des grains                       | Huile                | - Production de savon, carburant, insecticide, utilisations médicinales.                          |
|                                  | Tourteaux de graines | - Engrais, production de biogaz, Fourrage (provenant de variétés non toxiques)                    |
|                                  | Coquille de grains   | - Combustibles                                                                                    |
| Feuilles                         |                      | - Utilisations médicinales.                                                                       |
| Latex                            |                      | - Substance anti-inflammatoire, contient une protéase de cicatrisation, utilisations médicinales. |

**I.2.7. Les avantages et inconvénients :****A. Les avantages :**

- ☞ Il est pérenne, résistant à la sécheresse et adapté aux terres marginales et semble convenir à la remise en état des terres.
- ☞ Il peut être cultivé presque n'importe où, même dans un sol sablonneux, salin ou autrement infertile.
- ☞ Il est capable de stabiliser les dunes de sable, agissant comme un brise-vent, et lutte contre la désertification.
- ☞ Il repousse naturellement les animaux et les insectes.
- ☞ Il n'épuise pas les nutriments du sol.
- ☞ Il ne nécessite pas de rotation des cultures coûteuse.
- ☞ Il ne nécessite pas d'engrais.
- ☞ Il croît rapidement et s'établit facilement.
- ☞ Il a un rendement élevé (le Jatropha peut produire environ 1000 barils de pétrole par année par mille carré - la teneur en huile de la graine est de 55 à 60%).
- ☞ C'est formidable pour les pays en développement en termes d'énergie et d'emplois création.
- ☞ Le sous-produit du biodiesel, la glycérine, est rentable en soi.
- ☞ La masse de l'usine de déchets après l'extraction d'huile peut être utilisée comme engrais.
- ☞ L'usine recycle 100% des émissions de CO<sub>2</sub> produites par la combustion du biodiesel.
- ☞ La plante peut être utilisée comme haie pour prévenir et contrôler l'érosion et de récupérer des terres.
- ☞ L'huile est largement utilisée pour fabriquer du savon dans certains pays car elle a une valeur de saponification très élevée.
- ☞ L'huile est utilisée comme illuminant car elle brûle sans émettre fumée.
- ☞ Le latex de J. curcas contient un alcaloïde appelé « jatrophine » qui aurait des propriétés anticancéreuses, regarde l'annexe (2).
- ☞ À partir de l'écorce de J. curcas, un colorant bleu foncé est produit qui est utilisé pour colorer le tissu, les filets de pêche, etc.
- ☞ Le sous-produit des graines de J. curcas contient une forte teneur en azote, en phosphore et en potassium qui est utilisé pour les aliments pour poissons, les animaux domestiques la nourriture et dans les terres comme engrais.

- ☞ Son gâteau peut être utilisé pour générer du biogaz qui pourrait être utilisé localement comme combustible de cuisson domestique ([Silitonga et al, 2011](#)).

### B. Les inconvénients :

- ☞ Ne tolère pas la sécheresse.
- ☞ Le jatropha ne produit pas de bons rendements dans de mauvaises conditions ([Alamine, 2011](#)).
- ☞ Les graines et les feuilles sont toxiques pour les êtres humains et les animaux.
- ☞ La toxicité est basée sur plusieurs composants (esters de phorbol, curcaïnes, inhibiteurs de la trypsine et autres) qui font de la désintoxication complète un processus difficile.
- ☞ Concurrence avec la production alimentaire pour l'utilisation des terres ([Chakrabarti & Prasad, 2012](#)).

### Conclusion :

De ce qui précède, nous concluons que les plantes de soja et de jatropha curcas ont de nombreux avantages et utilisations. Les huiles extraites des graines sont utilisées dans plusieurs domaines, notamment les médicaments et les cosmétiques, et d'autres, ils sont convertis par des techniques et des procédés chimiques en pesticides, savons et biocarburants renouvelables.

D'un autre côté, nous concluons que les plantes de soja sont utilisés pour la consommation humaine, mais le jatropha curcas a de nombreuses utilisations dans le domaine industriel.



# **Chapitre II**

La production mondiale d'agrocarburants qui a atteint 65,35 millions de tonnes équivalents pétrole en 2013 est le résultat d'un véritable boom observé à l'échelle mondiale durant ces quinze dernières années. Tirée par les soutiens publics accordés aux bioénergies dans le cadre de la promotion des énergies renouvelables, la production de biocarburants a connu une nette progression (Derra, 2014). Par conséquent dans ce chapitre, nous avons traité de l'étude des biocarburants en identifiant leurs générations et ses types, où nous sommes concentrés sur le troisième type : le biodiesel, en mentionnant ses propriétés physicochimiques et la méthode la plus courante pour production, représentée par la transestérification à l'aide d'alcool et d'un catalyseur approprié.

## **II.1. Le biocarburant**

### **II.1.1. Définition :**

Les biocarburants sont des fluides produits à partir des matériaux organiques non fossiles et issus de la biomasse ou matière première considérée comme étant la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, de la sylviculture et de leurs industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux.

Le terme biocarburant est générique et inclut le bioéthanol, le biodiesel, la bio-huile, le biogaz, Le bioéthanol et le biodiesel sont les plus produits et peuvent être synthétisés à partir de la biomasse par l'intermédiaire de la catalyse chimique ou biologique. Les biocarburants représentent une source d'énergie renouvelable, sans grand danger pour l'environnement et constituent ainsi une voie de développement soutenable et durable. En effet, ils contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre et de ce fait, à améliorer la qualité de l'air. De plus, ils peuvent se substituer aux carburants fossiles et assurer une certaine stabilité économique en réduisant la dépendance énergétique (Khiari, 2016).

La production de biocarburants est intervenue dans un contexte énergétique et environnement mondial. Si l'Algérie est à l'abri de l'énergie fossile (pétrole et gaz) pour 40 à 50 ans à venir, beaucoup des pays sont déficients actuellement en particulier les gros importateurs (USA et Europe). La consommation mondiale du pétrole représente 97% dans les transports et plus de 50 % de l'énergie globale et cela ne cesse d'augmenter chaque année. Cette consommation galopante a engendré la cherté des

énergies fossiles et la dégradation de l'environnement par l'augmentation des polluants notamment les gaz à effet de serre. Ces contraintes énergétiques et environnementales ont poussé plusieurs pays à mettre en œuvre des programmes production et de promotion des biocarburants surtout pour le transport. Les biocarburants sont des carburants obtenus à partir de la biomasse selon trois modes de production; à chaque procédé un biocarburant bien défini dans la [Fig.II.1](#).

La valeur énergétique d'un biocarburant est mesurée par le pouvoir calorifique inférieur (PCI) qui mesure la quantité d'énergie libérée lors de la combustion. Le PCI des biocarburants est inférieur à ceux des carburants fossiles ([MESBAHI, 2012](#)).

### **II.1.2. Les générations de biocarburant :**

En général, les biocarburants sont classés en deux catégories des produits dits primaires et secondaires. Les biocarburants primaires, comme le bois, sont utilisés sous leur forme brute : ils ne subissent aucun traitement et ils sont dédiés principalement à la production de la chaleur (chauffage) ou de l'électricité. Les biocarburants secondaires tels que l'éthanol et le biodiesel, sont produits à partir du traitement de la biomasse et ont un large éventail d'applications, à l'instar du transport et des procédés industriels opérant à hautes températures ([Khiari, 2016](#)).

On distingue généralement trois générations des biocarburants, qui se différencient par la nature de la biomasse mobilisée pour leur production.

#### **1.2.1. Biocarburants de première génération :**

Un biocarburant de première génération est un agro-carburant produit à partir des cultures destinées traditionnellement à l'alimentation, plus spécifiquement les organes de réserves des plantes oléifères ou encore à sucres. Ces biocarburants sont caractérisés par une commercialisation à grande échelle et par des technologies assimilées et des procédés de production relativement simples.

Le biocarburant de première génération le plus répandu est l'éthanol, dont la production est largement dominée par le Brésil et les Etats-Unis. Il est obtenu par fermentation par des levures de sucres simples issus des plantes (canne à sucre et betterave), ou de l'amidon issu des céréales (maïs et blé). Il peut être mélangé directement à l'essence à des teneurs allant de 5 à 26% ou à des taux encore plus élevés pour les véhicules dits flexibles introduits avec succès au Brésil.

Un autre biocarburant de première génération, le plus connu et le plus consommé, est le biodiesel produit à partir des plantes oléagineuses par transestérification ou craquage, à l'exemple du biodiesel synthétisé à partir d'huile de colza en Allemagne et à partir d'huile de palme en Malaisie.

Les biocarburants dits de première génération sont issus de la conversion de cultures alimentaires en sources d'énergie, plutôt qu'en produits alimentaires; un champ de colza par exemple, peut aussi bien servir à produire d'huile alimentaire que du biocarburant. Par conséquent, la production de ces biocarburants entre en compétition directe avec la production alimentaire et donc, avec la disponibilité et les cours des aliments dans le monde. Cette concurrence avec des produits de première nécessité constitue l'une des principales critiques envers les biocarburants de première génération. De plus, plusieurs études s'accordent à attribuer à ce type de biocarburant des sous-entendus à travers une supposée concurrence et une tension sur les ressources liées à des besoins en surfaces agricoles. Un bilan en termes d'émission de gaz à effet de serre apparaîtrait ainsi moins favorable avec la prise en compte des conditions de production et de distribution, d'où des interférences probables avec les écosystèmes naturels et les systèmes alimentaires et pour compléter ces réflexions, nous citerons l'impact négatif sur la biodiversité.

Les limitations des biocarburants de première génération ont été identifiées à l'exception de l'éthanol produit à partir de la canne à sucre. Les recherches ont mis l'accent sur la nécessité de trouver de nouvelles ressources énergétiques renouvelables extraites de la biomasse, d'où un nouveau type de produit, en l'occurrence le biocarburant de deuxième génération (Khiari, 2016).

### **1.2.2. Biocarburants de deuxième génération :**

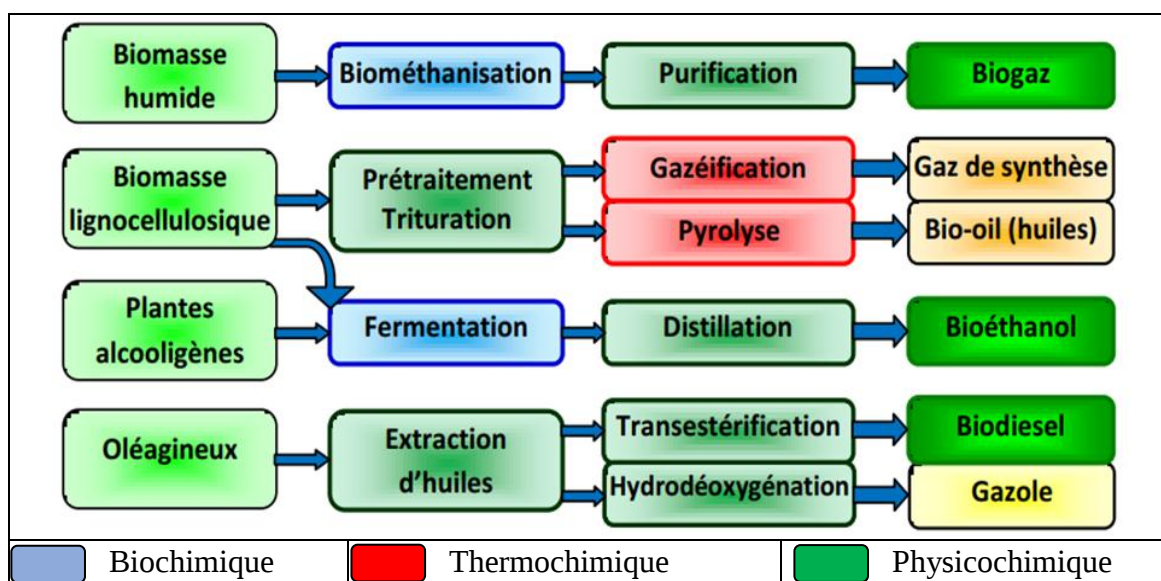
Un biocarburant de deuxième génération est obtenu à partir d'une biomasse dédiée a non-alimentaire, moins exigeante en termes de qualité de terre arable et en eau. Il s'agit plus spécifiquement de la biomasse lignocellulosique (lignine et cellulose) associée aux parties non comestibles des plantes, aux déchets, aux résidus des récoltes agricoles, aux activités forestières, ainsi qu'à la fraction organique des déchets municipaux. Il devient alors envisageable de valoriser les pailles, les tiges, les feuilles ou même des plantes à croissance rapide (*Miscanthus* et *Jatropha curcas*) dont l'huile est non comestible et qui suscite un engouement général de la part de la communauté scientifique en raison de son important potentiel pour la production du biodiesel.

Le principal avantage des biocarburants de deuxième génération réside dans le fait que ces produits limitent l'incommodante dualité qui oppose la production des denrées alimentaires à celle des biocarburants, tout en permettant, c'est à espérer, une exploitation plus efficiente des terres agricoles (Khiari, 2016).

### **1.2.3. Biocarburants de troisième génération :**

Les biocarburants dits de troisième génération, dérivés de microbes et de microalgues, s'imposeraient comme une issue exemptée des principaux inconvénients propres aux biocarburants de première et de deuxième générations.

Les avancées récentes ont montré que des espèces microbiennes comme la levure, les champignons (mycètes et champignons) et les microalgues, peuvent être utilisées pour produire du biodiesel, du fait que ces organismes peuvent biosynthétiser et stocker des quantités importantes d'acides gras, similaires à celles présentes dans les huiles végétales. Les algues sont recensées comme l'une des plus vieilles formes de vie sur terre; elles sont présentes dans pratiquement tous les écosystèmes, dans une large variété d'espèces et qui présentent le taux de croissance le plus élevé de l'ensemble du règne végétal; elles s'adaptent à des conditions environnementales très variées. Les cellules des algues sont de véritables usines biochimiques miniaturisées qui absorbent du CO<sub>2</sub> et produisent des lipides, des protéines et des hydrates de carbone. De plus, leur activité photosynthétique est beaucoup plus forte que celle des plantes terrestres et donc plus productives. Un grand nombre d'études s'intéressant à déterminer les conditions optimales de la production d'huile à partir des algues, aboutissent à des résultats prometteurs. En effet, il a été rapporté que le rendement en huile par hectare dépasse d'un facteur de 30 celui des cultures traditionnelles des plantes oléifères. Néanmoins, certains handicaps doivent être contournés, à l'instar du rendement des algues qui dépend fortement des radiations solaires, ce qui limite leur exploitation aux régions ensoleillées (procédés extensifs), à moins d'installer des photo-bioréacteurs fermés où les paramètres physicochimiques sont contrôlés (procédés intensifs). La mise en œuvre industrielle de la production des biocarburants à partir des microalgues reste toutefois à confirmer (Khiari, 2016).



**Fig.II.1 :** Filières de conversion de la biomasse en bioénergies selon les différents procédés (MESBAHI, 2012).

### II.1.3. Les types de biocarburants :

#### 1.3.1. Le biogaz :

Les biogaz sont les produits gazeux obtenus à partir de la biomasse par différents procédés; ils sont produits par fermentation (digestion microbienne en l'absence d'oxygène) de la matière organique. Il en résulte principalement la production du méthane (molécule combustible dans le gaz naturel), du monoxyde de carbone et de l'hydrogène. Les biogaz peuvent être obtenus soit par méthanisation des déchets organiques, soit par gazéification (craquage thermique) du bois.

De même, plusieurs processus naturels entraînent la production du biogaz (digestion des ruminants et décomposition naturelle dans les étendues marécageuses). Cependant, les sources générées par l'activité humaine sont également importantes et, plutôt que de représenter des déchets, elles pourraient être utilisées comme matière première pour produire d'énergie; ces sources de biogaz sont les déchets solides des sites d'enfouissement sanitaire ou technique (dépotiers) ou encore les boues des stations d'épuration.

**1.3.2. Le bioéthanol :**

Le bioéthanol provient de la fermentation alcoolique des sucres simples par des levures ; les sucres simples doivent être obtenus à partir de la biomasse et les sources de la matière première pour la fabrication du bioéthanol sont :

- Les sucres simples ou amidon hydrolysé (dégradé) provenant des plantes consommables (canne à sucre, maïs, etc.) ; ce sont des agro-carburants.
- Les débris végétaux de toute sorte (résidus forestiers, copeaux issus de scieries ou de papeteries, etc.) riches en cellulose (éthanol cellulosique); la cellulose peut être hydrolysée en sucre simple fermentable.
- L'éthanol produit par cette fermentation est combustible et peut être ajouté aux carburants conventionnels. Les alcools peuvent être utilisés comme additifs pour les carburants et dans d'autres cas, ils sont utilisés comme matière première pour la fabrication d'autres carburants; dans des moteurs conçus pour cette utilisation. Le taux d'éthanol peut aller jusqu'à 85%, mais un taux plus faible de 5 à 10% est même actuellement ajouté aux carburants des voitures et, sans aucune modification nécessaire des moteurs.

**1.3.3. Le bio-huile (bio-oil) :**

Ce sont les produits liquides issus de la solvolyse ou de la pyrolyse de la biomasse (bois, huiles végétales et graisses animales). Le bio-huile est un mélange complexe qui contient une grande variété de composés de différentes classes chimiques, tels que les acides carboxyliques, les esters, les alcools, les aldéhydes, les cétones, les phénols, les alcènes et les aromatiques. En outre, les bio-huiles sont faciles à stocker et à transporter et peuvent être utilisées comme un biocarburant ou pour la fabrication de produits chimiques de grande valeur.

**1.3.4. Le biodiesel (biogazol) :**

Le biodiesel est un biocarburant destiné à être utilisé dans les moteurs Diesel et provient de la conversion des lipides (huiles végétales et graisses animales) en carburant.

Les sources de matière première les plus utilisées pour la fabrication du biodiesel sont :

- Les huiles végétales, vierges ou usées; il s'agit aussi d'un agro-carburant.
- Les huiles extraites d'algues ou de microalgues (algo-carburant).
- Les graisses animales (relativement peu utilisées).

Le biodiesel est très semblable au Diesel conventionnel et peut être utilisé sans modifications majeures des moteurs; c'est un carburant prometteur qui pollue moins. Actuellement, il est souvent ajouté au Diesel classique dans des pourcentages variables (Khiari, 2016).

### 1.3.4.1. Les caractéristiques physico-chimiques de biodiesel :

L'ester éthylique d'huile consiste de trois acides gras : Acides linoléique, acides oléique, acides palmitique et les autres acides sont présents sous forme des traces.

Le tableau ci-dessous compare certaines propriétés physiques du gazole à celles des huiles et de leurs esters.

**Tableau.II.1** : Propriétés physiques comparées entre les huiles, leurs esters correspondants et du gazole (Berna, 2009).

| Huile ou ester                           | Densité<br>(g/ml) | Viscosité à<br>37.8°C<br>(mm <sup>2</sup> /s) | Indice de<br>cétane | Point<br>trouble<br>(°C) | Point éclair<br>(°C)   | PCI*<br>(MJ/kg) |
|------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|-----------------|
| <b>Gazole de référence</b>               | 0.832             | 1.6-6.0                                       | 45.0                | - 17.8                   | 46                     | 35.3            |
| <b>Huile d'Arachide</b>                  | 0.921             | 41.2                                          | 41.5                | + 3                      | 237                    | 34.1            |
| <b>Ester méthylique<br/>d'arachide</b>   | 0.883             | 4.9                                           | 54.0                | + 5                      | 176                    | 33.6            |
| <b>Huile de soja</b>                     | 0.923             | 36.8                                          | 38.5                | - 4                      | 219                    | 34.0            |
| <b>Ester méthylique de soja</b>          | 0.885             | 4.5                                           | 45.0                | + 1                      | 178                    | 33.5            |
| <b>Huile de Palme</b>                    | 0.918             | 39.6                                          | 42.0                | + 31                     | 267                    | 35.0            |
| <b>Ester méthylique de<br/>palme</b>     | 0.880             | 5.7                                           | 62.0                | + 13                     | 164                    | 33.3            |
| <b>Huile de tournesol</b>                | 0.924             | 37.1                                          | 35.5                | - 5                      | 232                    | 34.0            |
| <b>Ester méthylique<br/>de tournesol</b> | 0.880             | 4.6                                           | 49.0                | + 1                      | 183                    | 33.5            |
| <b>Huile de colza</b>                    | 0.92              | 30.2 à 40°C                                   | 35                  |                          | Décomposition<br>> 320 | 37.7            |
| <b>Ester méthylique de<br/>colza</b>     | 0.88-0.885        | 4.5 à 40°C                                    | 51                  |                          | 170 - 180              | 39.96           |

On remarque que les propriétés d'ester issu d'huile varient en fonction de la nature d'huile utilisée, surtout l'indice de cétane, le point trouble et le point éclair. Cependant, les propriétés des esters sont très proches de celles du gazole. Le principal intérêt de l'utilisation des esters par rapport à leurs huiles est l'abaissement de la viscosité et de la température limite de filtrabilité. En effet, la viscosité diminue de l'ordre d'un facteur de 7 à 10. Cette baisse est un atout primordial puisqu'elle permet une bien meilleure atomisation par les injecteurs et donc une bien meilleure combustion. L'indice de cétane sert à apprécier l'aptitude à l'auto-inflammation d'un gazole sur une échelle de 0 à 100. Par rapport à l'huile, on voit que la transestérification améliore nettement l'indice de cétane. Il apparaît que cet indice augmente avec le poids moléculaire d'acide gras ainsi qu'avec le poids moléculaire de l'alcool pour un même acide gras, tandis qu'il diminue avec le nombre d'insaturations. En Europe, l'indice de cétane le plus faible des gazoles est voisin de 45; la moyenne en France est proche de 50. Le point éclair des esters est plus élevé que celui du gazole. Cela en fait des carburants moins dangereux à manipuler que le gazole. Il est clair que les propriétés physiques changent énormément quand on passe de l'huile à son ester correspondant. On se rapproche par la suite des propriétés du gazole. Il existe des normes européennes (DIN EN 14214) et américaines (ASTM D 6751) qui contrôlent ces propriétés chimiques et physiques comme montré en [annexe \(1\)](#) (Berna, 2009).

#### **1.3.4.2. Les étapes de production le biodiesel :**

##### **4.2.1. Etape de mélange des réactifs :**

Les réactifs, l'huile et l'alcool (méthanol ou éthanol) sont introduits, puis mélangés dans la cuve servant de réacteur en présence du catalyseur. Selon la configuration du réacteur, les réactifs sont introduits soit directement dans la même cuve ou soit de manière séparée dans de différentes cuves par la suite, mélangés dans la cuve d'huile.

##### **4.2.2. Etape de réaction :**

Une fois que le mélange huile/alcool ait lieu dans le réacteur, le processus de la réaction de transestérification se déclenche pour durer un certain temps. Les conditions de température et de pression sont fonction du type de catalyse. Un système de chauffage du réacteur et de l'agitation est nécessaire pour la réaction. A la fin de la

réaction, huile passe à l'état d'ester en changeant ses propriétés physico chimiques : la viscosité, la densité, la masse molaire.

#### **4.2.3. Etape de décantation :**

Après la formation des esters au cours de la transestérification, une étape de décantation du produit est nécessaire pour séparer le biodiesel du glycérol. Le glycérol plus dense que le biodiesel se condense dans la partie basse et le biodiesel dans la partie haute. La décantation peut s'effectuer dans le réacteur par gravité, ou dans des décanteurs statiques ou par des centrifugeuses pendant deux à trois heures de temps.

#### **4.2.4. Etape de lavage :**

Une étape de purification de l'ester consiste à éliminer les impuretés telles que la glycérine résiduelle, l'excès d'alcool, les traces de catalyseurs, savons et sels formés par la catalyse homogène. Cette opération s'effectue par lavage du biodiesel à l'eau. Une purification poussée des esters est réalisable par passage sur une colonne remplie d'un absorbant sélectif ou un lit de résines échangeuses d'ions. La distillation de type flash sous vide assure également la pureté de l'ester.

#### **4.2.5. Etape de séchage :**

Après lavage du biodiesel à l'eau, l'opération de séchage permet d'évacuer l'eau présente. Elle est le plus souvent réalisée par chauffage à une forte température du biodiesel lavé, la température de séchage pouvant atteindre 140°C en procédé continu par catalyse homogène.

#### **4.2.6. La neutralisation du glycérol :**

Le catalyseur est neutralisé à l'aide d'un acide, ce qui produit du glycérol brut dont la pureté varie entre 80 et 88 %. Le glycérol à cette étape peut contenir de l'eau, des savons, de l'alcool et des traces de catalyseur non utilisé. Pour des besoins particuliers (marchés pharmaceutiques et cosmétiques), le glycérol est distillé afin d'obtenir un degré de pureté supérieur à 99 % (ABALACHE & BALIT, 2017).

### 1.3.4.3. Les méthodes de production de biodiesel :

Beaucoup de travaux ont été effectués dans le but de produire des dérivés des huiles végétales ayant des propriétés et performances assez voisines de celles du diesel. On distingue quatre méthodes principales de production de dérivés d'huiles végétales.

- Microémulsion ;
- Pyrolyse ;
- Dilution ;
- Transestérification.

La transestérification est la méthode préférable. Elle consiste à mélanger l'huile et l'alcool en présence d'un catalyseur, cette réaction est généralement effectuée à une température modérée entre 20 à 80 °C sous une pression atmosphérique (ABALACHE & BALIT, 2017).

## II.2. La transestérification d'huile:

### II.2.1. La Réaction de transestérification :

La transestérification est la technique classique de production de biodiesel. Il s'agit d'un procédé dans lequel les huiles végétales ou les graisses animales sont mélangées à froid à un alcool (éthanol ou méthanol). Si l'alcool est le méthanol on a une méthanolyse, si l'alcool est l'éthanol on a une éthanolyse. La transestérification est une réaction catalytique homogène ou hétérogène des triglycérides et d'alcool. Le catalyseur est un acide (acide sulfurique  $H_2SO_4$ ) ou une base (hydroxyde de sodium NaOH ou de potassium KOH).

La réaction de transestérification est présentée généralement par l'équation suivante :

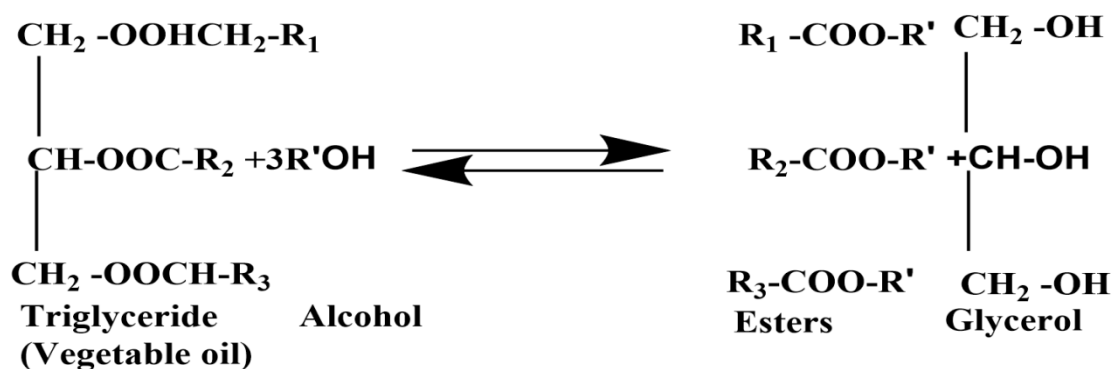
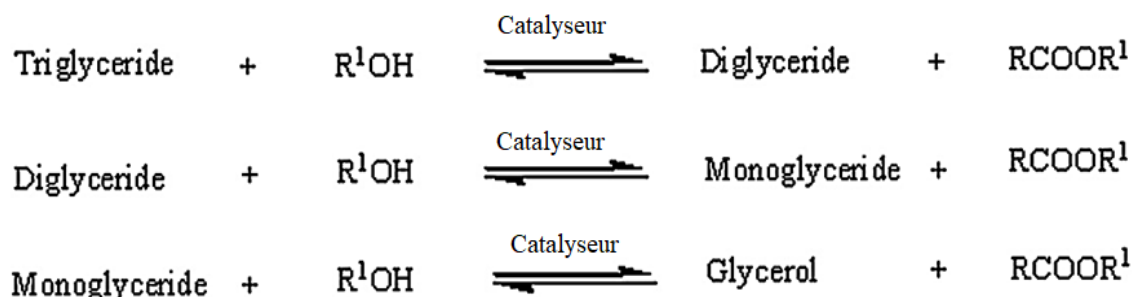


Fig.II.2 : Réaction générale de la transestérification (MESBAHI, 2012).

La réaction est constituée de trois étapes réversibles consécutives au cours desquelles les triglycérides sont convertis d'abord en diglycérides, puis en monoglycérides et en glycérol. Après chaque étape, un ester est formé comme montre dans (Fig.II.3) (MESBAHI, 2012; Nguyen, 2010).



**Fig.II.3** : mécanisme de la réaction de la transestérification (Berna, 2009).

✓ **But de la réaction de transestérification :**

La décomposition thermique d'une huile, qui est un ester de glycérine, en l'absence d'oxygène conduit à la formation de glycérol et d'un mélange d'esters. L'objectif d'une telle étude est l'utilisation des esters obtenus comme carburant diesel; l'étude conduit en même temps à :

1. L'élimination totale de la glycérine.
2. La diminution du point d'ébullition de l'huile.
3. La diminution du point éclair de l'huile.
4. L'utilisation de la glycérine dans l'industrie chimique.
5. L'utilisation des sous-produits dans l'industrie du savon et des détergents (Haidra, Aout 1996).

## II.2.2. Les différentes les alcools utilisés :

Généralement, le méthanol et l'éthanol sont les deux alcools les plus utilisés pour transestérifier. Pourtant, l'ester le plus employé est l'ester méthylique car le prix de méthanol est moins coûteux que les autres alcools sauf dans quelques pays.

❖ **Le méthanol :**

Le méthanol de formule  $\text{CH}_3\text{OH}$  est un produit chimique très toxique résultant de la synthèse du dihydrogène avec le monoxyde de carbone. Il fond vers  $-95^\circ\text{C}$ , bout à  $64,5^\circ\text{C}$  et à une densité de 0,791 à la température de  $20^\circ\text{C}$ . Peu soluble mais très réactif,

le méthanol est utilisé dans beaucoup des synthèses dont celle des EMHV. les principales caractéristiques de Méthanol montre dans l'annexe (1). A cet effet, il doit respecter les recommandations ci-dessous :

- Teneur en méthanol (% poids)  $\geq 99,85$  ;
- Teneur en eau (% poids)  $\leq 0,1$ .

#### ❖ L'éthanol :

De la classe des alcools primaires, l'éthanol de formule  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-OH}$  à usage des boissons et usage industriel, est obtenu par fermentation de solutions sucrées, naturelles (jus de raisin, canne à sucre, etc.) ou artificielles (hydrolyse de l'amidon). La majeure partie de l'éthanol à usage industriel est synthétisé à partir de l'éthanal ou de l'éthylène issu du pétrole. L'éthanol a une température de fusion de  $-114,1^\circ\text{C}$ , une température d'ébullition de  $78,3^\circ\text{C}$  et une densité de 0,789 à  $20^\circ\text{C}$ . L'éthanol est plus soluble mais moins réactif que le méthanol ce qui a un impact positif sur le rendement mais négatif sur la vitesse lors des réactions de transestérification ses principales propriétés physiques sont résumées au niveau de l'annexe (1) (TCHAKBLO, 2009).

### II.2.3. Les différentes les catalyseurs utilisés :

#### 2.3.1. Les catalyses homogènes :

##### ► Les catalyses homogènes basiques :

Les travaux ayant trait à la production des biodiesels ont été effectués moyennant, le plus souvent, la catalyse basique. Les catalyseurs les plus couramment utilisés sont l'hydroxyde de sodium et l'hydroxyde de potassium qui montré en annexe (1); ces catalyseurs sont utilisés à l'échelle industrielle et ce, pour diverses raisons : aptitude à catalyser à basse température et à pression atmosphérique, importance du taux de conversion atteint en un temps minime, large disponibilité et à faible prix.

Les recherches montrent que dans le cas de la transestérification, la catalyse basique est plus rapide que la catalyse acide, à plus forte raison dans le cas des huiles végétales ne contenant qu'une faible teneur en acides gras libres (AGLs) avoisinant 0,5% en masse, ou dans le cas des huiles dont l'indice de saponification est inférieur à 1mg KOH/g. Néanmoins, certains travaux rapportent que les catalyseurs basiques peuvent supporter des teneurs en AGLs plus élevées(Khiari, 2016).

► **Les catalyses homogènes acides :**

En raison des difficultés rencontrées au niveau de la catalyse basique (principalement sensibilité aux AGL) et afin de contourner ces limitations, la catalyse acide apparaît comme une alternative exploitable, notamment en utilisant des catalyseurs tels que les acides minéraux (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).

La catalyse acide permet de s'affranchir des réactions parasites pouvant nuire au rendement de la réaction. Et peuvent catalyser simultanément la réaction d'estérification des AGLs et de transestérification des triglycérides, augmentant ainsi la conversion.

Il a été rapporté dans la littérature que le catalyseur acide devient plus efficace lorsque la teneur en AGL dans l'huile dépasse 1% en poids. Cependant, il a également été montré que la transestérification en catalyse acide est beaucoup plus lente que le processus dans lequel la catalyse primaire est effectuée.

Ainsi, du fait de l'absence de réaction et d'une cinétique très lente, la catalyse acide, lors de la réaction de transestérification, nécessite des conditions strictes qui sont une température de réaction élevée, une teneur élevée en alcool / huile et une durée prolongée de réaction. De plus, les catalyseurs acides sont corrosifs et la maintenance des installations industrielles devient difficile et coûteuse (Khiari, 2016).

Le **tableau.II.2** présente les avantages et les inconvénients des catalyseurs basiques et acides.

**Tableau.II.2 :** Avantages et inconvénients des catalyseurs basiques et acides (Khiari, 2016).

| Catalyseurs basiques                                                                                            |                                                                                                                                                   | Catalyseurs acides                                                                                                                          |                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Avantages                                                                                                       | Inconvénients                                                                                                                                     | Avantages                                                                                                                                   | Inconvénients                                                                                                                            |
| - Catalyseurs disponibles (NaOH, KOH), moins coûteux.<br>- Conditions réactionnelles modérées (T et P faibles). | -Sensible aux AGLs<br>-Existence de réaction de saponification.<br>-Difficulté de purification du produit final pour cause d'émulsion savonneuse. | -Insensible aux AGLs et à l'eau contenue dans l'huile.<br>-Estérification et transestérification simultanées, ce qui améliore le rendement. | -Réaction très lente.<br>-Réactions coûteuses en énergie.<br>-Corrosion des installations.<br>-Impossibilité de récupérer le catalyseur. |

### 2.3.2. Les catalyses hétérogènes :

Des nombreuses recherches ont étudié la transestérification dans des milieux hétérogènes. Le nombre de publications dans le domaine de la stimulation hétérogène a considérablement augmenté au cours des quatre dernières années. Certains ont utilisé des catalyseurs bien connus comme le CaO, l'alumine dopée par des cations, la zircone greffée, les hydrotalcites, les zéolithes... d'autres ont développé de nouveaux solides pour cette réaction ou encore des catalyseurs d'origine naturelle. Dans cette partie, nous allons passer en revue un regard sur les déclencheurs les plus couramment utilisés et originaux (Berna, 2009).

#### ► Les catalyseurs hétérogènes acides :

La catalyse hétérogène acide a soulevé un grand intérêt en raison de sa capacité à transestérifier les huiles acides sans la contrainte de la formation des savons. En effet, la catalyse acide peut bien transestérifier les triglycérides et estérifier les acides libres, ce qui augmente le rendement. Les catalyseurs acides les plus utilisés dans la production de biodiesel sont :  $ZrO_2$ ,  $SnO_2$ , zéolithes, résines échangeuses d'ions et hétéro poly acides (Khiari, 2016).

Récemment, plusieurs solides acides ont été utilisés dans la réaction de transestérification des huiles végétales (Berna, 2009). On cite ci-dessous quelques catalyseurs acides:

**Tableau.II.3 :** Exemples de catalyseurs acides solides utilisés pour le biodiesel (MESBAHI, 2012).

| Catalyseurs Acides | Groupes                                              | Exemples                                                                                                |
|--------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | Oxydes de métaux de transition supportés sur alumine | $ZrO_2/Al_2O_3$ ; $WO_x-$<br>$ZrO_2/Al_2O_3$ ;<br>$TiO_2-ZrO_2/Al_2O_3$ ; $TiO_2-$<br>$Bi_2O_3/Al_2O_3$ |

#### ► Les catalyses hétérogènes basiques :

Les principaux catalyseurs hétérogènes basiques utilisés par l'industrie des biodiesels, sont classés par leur importance, à l'instar des oxydes alcalino-terreux, des oxydes métalliques mixtes, des sels, des métaux alcalins sur supports poreux, des zéolithes ou encore, des bases organiques solides, ces catalyseurs, les oxydes ont suscité un intérêt à cause de leur basicité relativement élevée, leur faible solubilité dans les

alcools et leur production éventuelle à partir des matières premières moins onéreuses (Khiari, 2016). On cite ci-dessous quelques catalyseurs acides :

**Tableau.II.4 :** Exemples de catalyseurs basiques solides utilisés pour le biodiesel(MESBAHI, 2012).

| Catalyseurs Basiques | Groupes               | Exemples                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | Oxydes IIA            | CaO, MgO, BaO, SrO                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                      | Oxydes mixtes         | CaCeO <sub>3</sub> , CaMnO <sub>3</sub> , CaZrO <sub>3</sub> ,                                                                                                                                                                                                      |
|                      | Supportés sur alumine | NaOH, KOH/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ;<br>KF, KI/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,<br>K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ;<br>Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,<br>REO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|                      | Zéolithes             | Zéolithe X échangée                                                                                                                                                                                                                                                 |

Le procédé industriel alternatif utilise généralement des catalyseurs basiques homogènes en raison de son faible coût et de sa vitesse de réaction élevée dans des conditions de pression et de température modérées. Mais ces procédés sont particulièrement adaptés aux sources d'huile avec de très faibles concentrations d'eau et d'acides libres tels que les huiles végétales raffinées et les graisses animales. Il est donc dans l'intérêt de recycler les huiles déjà utilisées ou même les huiles non alimentaires (Berna, 2009). Le tableau ci-dessous compare les deux types de catalyses pour la transestérification des huiles végétales.

**Tableau II.5:** Comparaison des catalyses homogènes et hétérogènes(TCHAKBLO, 2009).

|                                                 | Catalyse Homogène                              | Catalyse Hétérogène                     |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Conditions de température et de pression</b> | Douces : 45 à 85°C à la pression atmosphérique | Elevées : 180 à 220°C sous 40 à 60 bars |
| <b>Vitesse de la réaction</b>                   | Elevée                                         | Faible                                  |
| <b>Séparation catalyseur/produits</b>           | Pas aisée                                      | Facile                                  |
| <b>Formation de savons, émulsion</b>            | Oui                                            | Non                                     |
| <b>Emission de gaz à effet de serre</b>         | Plus importante                                | Moins importante                        |
| <b>Coût du catalyseur</b>                       | Faible                                         | Moins faible                            |
| <b>Durée de vie du catalyseur</b>               | Courte                                         | Plus longue                             |
| <b>Rendement</b>                                | 98,5 à 99,4%                                   | Peut atteindre 100%                     |

**II.2.4. Les facteurs influençant de transestérification :**

Le procédé de transestérification est influencé par les facteurs dépendant de la condition de la réaction utilisée. Quelques principaux facteurs sont discutés dans la partie suivante :

**➤ Le rapport alcool/huile :**

Les variables plus importantes affectant le rendement en ester est le rapport molaire de l'alcool au triglycéride. Le rapport stœchiométrique pour la transestérification nécessite trois moles d'alcool et une mole de glycéride pour donner trois moles d'ester d'acide gras et une mole de glycérol. Le rapport molaire est associé au type de catalyseur utilisé.

Le rapport alcool / huile molaire n'est pas inférieur à 6. Ce pourcentage s'est avéré très variable selon la nature d'huile et du catalyseur utilisés (Ma & Hanna, 1999; MESBAHI, 2012).

**➤ La nature et la qualité d'huile :**

Des réactions secondaires (parasites) peuvent se produire si l'huile contient de l'eau et des acides gras libres. Ainsi, la cinétique de transestérification est affectée. En effet, la présence d'eau favorise la dégradation des triglycérides (MESBAHI, 2012).

**➤ Le type de catalyseur :**

Il est admis que, dans le cas de la réaction de transestérification, la catalyse basique est beaucoup plus rapide que la catalyse acide. Ainsi, les temps de réaction varient de 3 à 48 heures avec un catalyseur acide, les réactions sont pour la plupart complètes au bout d'une heure avec un catalyseur basique. Cependant, dans le cas de la catalyse acide, une température élevée, permet d'accélérer la vitesse de réaction (Berna, 2009).

**➤ La température et la pression :**

Les chercheurs notent que presque toutes les études menées sur les transformations catalytiques des huiles végétales sont réalisées sous pression atmosphérique. Le processus de transestérification peut se produire à différentes températures en fonction d'huile utilisée et le type de catalyseur réactif qui ne dépasse pas la température maximale utilisée pour la température de dégradation d'huile.

Généralement, la réaction est effectuée près du point d'ébullition de méthanol (60 - 70 ° C) à pression atmosphérique (MESBAHI, 2012; Wilson, 2010).

➤ **Le temps de déroulement de la réaction :**

Le temps dépend aussi des réactifs, du catalyseur et des autres conditions de la réaction. Le taux de conversion augmente avec le temps de réaction. la littérature montre que le temps est relativement très court dans les réactions alcali catalysées (MESBAHI, 2012).

➤ **L'agitation :**

L'agitation favorise un bon contact entre les réactifs et homogénéise le milieu réactionnel. Il est très important que l'huile et le catalyseur se mélange bien dans une réaction de transestérification (TCHAKBLO, 2009).

### **II.3. Domaines d'utilisation :**

- Bien qu'il puisse être utilisé proprement, le biodiesel est généralement mélangé avec Diesel dérivé du pétrole (Petro-Diesel). Le mélange de biodiesel est spécifié Petro-Diesel Pour « Bxx », où « x » désigne le pourcentage (par pays) de biodiesel dans le mélange.
- Il est utilisé dans les transports, l'éclairage et l'industrie, tandis que le B100 est du biodiesel pur. Plusieurs types des mélanges sont commercialisés, dont les plus populaires sont: B2, B5, B20 et B100.
- En Allemagne, il est exceptionnellement utilisé pur, dans des moteurs diesel appropriés (ABALACHE & BALIT, 2017).

### **II.4. Les avantages et inconvénients:**

#### **A. Les avantages :**

##### **❖ Renouvelables :**

Il faut des milliers d'années pour produire des combustibles fossiles tandis que la matière première des biocarburants est renouvelable beaucoup plus rapidement.

- ##### **❖ Sécurité :**
- en réduisant la dépendance sur les sources d'énergies étrangères, les pays peuvent protéger l'intégrité de leurs ressources énergétiques et se libérer des influences extérieures.

❖ **Biodégradabilité** : Les biocarburants sont facilement biodégradables et beaucoup moins dangereux à manipuler que les carburants traditionnels.

❖ **Faible émission de carbone** :

Lorsque les biocarburants sont brûlés, ils produisent significativement moins de carbone et beaucoup moins de toxine. C'est une alternative plus sûre pour préserver la qualité atmosphérique.

- Le biodiesel contient 11% d'oxygène et pas de soufre.
- Son utilisation peut prolonger la durée de vie des moteurs diesel, car il a plus de lubrification que le pétrole.
- Le biodiesel est sûr à contrôler et à transporter, car sa biodégradation est similaire à celle du sucre et sa toxicité est 10 fois inférieure à celle du sel de table.
- Le succès de cette technique a été prouvé par l'expérience, car elle était utilisée pour conduire des véhicules sur 30 millions de kilomètres aux États-Unis d'Amérique seulement.
- Sa combustion ne produit pas d'odeurs désagréables comme la combustion de combustibles fossiles, éliminant ainsi une certaine forme de pollution (ANNOU & CHIBANI, 2016).

**B. Les inconvénients :**

- ❖ Ils créent une énorme concurrence entre les cultures énergétiques et les cultures vivrières.
- ❖ Le développement de biocarburants à partir de cultures énergétiques peut constituer une menace pour les écosystèmes et les puits.
- ❖ Les biocarburants ont un rendement énergétique inférieur à celui des carburants conventionnels et nécessitent donc plus de quantité pour produire le même niveau d'énergie.
- ❖ Le raffinage des biocarburants pour produire une énergie plus efficace et la construction des usines de fabrication nécessaires pour augmenter les quantités de biocarburants nécessitent un investissement initial important.
- ❖ L'utilisation de certaines cultures vivrières (comme le maïs et le soja) entraîne une réduction de la consommation alimentaire

- ❖ Les biocarburants ne sont pas encore facilement accessibles aux consommateurs et la plupart des véhicules ne sont pas équipés pour fonctionner aux biocarburants.
- ❖ Selon le type de biocarburant, nous rencontrons parfois des odeurs indésirables lors de la production (Benali & Djaber, 2015).

**Conclusion :**

Après avoir étudié le deuxième chapitre, nous avons conclu que la transestérification est la méthode la plus courante de production de biodiesel. Le méthanol est le type d'alcool le plus couramment utilisé dans le processus de conversion. Parce que le méthanol est moins cher que les autres alcools. Le procédé industriel alternatif utilise généralement des catalyseurs basiques homogènes et les plus largement utilisés sont l'hydroxyde de sodium et l'hydroxyde de potassium en raison de leur faible coût et de leur vitesse de réaction élevée dans des conditions de pression et de température modérées. Le processus de transestérification est influencé par des facteurs qui dépendent d'état de réaction utilisé. Tel que : le rapport alcool / huile, la nature et la qualité d'huile, le type de catalyseur, la durée et la température de réaction et l'agitation.



# **Chapitre III**

Aujourd'hui de nombreux efforts de recherche et développement sont focalisés sur le Jatropha en tant que matière première pour la production de biocarburant dans les pays en développement. C'est un arbuste qui produit des graines oléagineuses contenant jusqu'à 40 % d'huile végétale(Chapuis et al, 2013). Dans la plupart des cas, cette huile est extraite au moyen de presses à vis ou par extraction chimique au solvant(Chapuis et al, 2013), tels que l'éther, l'hexane, l'isopropanol ...etc. L'huile des graines de Jatropha a des propriétés précieuses telles qu'une faible acidité, une bonne stabilité par rapport à l'huile de soja, une faible viscosité par rapport à l'huile de ricin et de meilleures propriétés à froid par rapport à l'huile de palme(Koh, Ghazi, & reviews, 2011).

D'autre part, l'huile de soja est produite à environ 30 millions de tonnes par ans en plus grande quantité que toute autre huile. Soja (glycine max) sont cultivés Aux États-Unis, au Brésil, en Argentine et en Chine principalement. Une fois extrait, Les haricots fournissent d'huile (18%) et de la farine protéinée de haute qualité (79%) est utilisée comme alimentation animale.

La moitié d'entre eux triple glycérol contient deux ou trois chaînes linoléiques. Plus que les autres ont une chaîne linoléique(Gunstone, 2004).

## **1. Matériels :**

### **1.1. Préparation des grains de jatropha et de soja :**

La préparation des échantillons concerne les fruits murs à pulpes sèches. L'obtention de l'huile nécessite un traitement des fruits en les étapes suivant :

- Dépulpage : L'opération consiste à éplucher le fruit sec manuellement ;
- Concassage : Il s'effectue manuellement à l'aide d'un marteau ;
- Torréfaction : Elle s'effectue à une basse température (40 °C) dans le but d'éliminer l'eau et de favoriser la destruction des saponines et faciliter ainsi l'extraction de l'huile ;
- Trituration : Elle s'effectue à l'aide d'un broyeur de laboratoire. Pour respecter une granulométrie optimale du broyat (qui doit avoisiner les 10 mesh), nous étions amenés à le tamiser sur un tamis de 1300 µm de diamètre (Ø des mailles).

### **1.2. L'extraction des huiles de jatropha et de soja :**

Les grains ont été broyés, à l'aide d'un broyeur mécanique, et dégraissés dans un appareil soxhlet, en utilisant hexane (point d'ébullition de 40 à 60 °C). Le lipide extrait a été obtenu en filtrant le lipide solvant contenue pour éliminer le solide du solvant avant que l'hexane ne soit

éliminé à l'aide d'un évaporateur rotatif appareil à 40 °C. L'huile de graine extraite a été conservée au congélateur à - 2 °C pour des analyses physico-chimiques subséquentes(Akbar et al, 2009).

### 1.2.1. Le rendement :

Le pourcentage d'huile extraite a été calculé en divisant la quantité d'huile obtenue par la quantité des graines multipliée par 100(Sayyar et al, 2009)

$$R = m/m_0 \times 100 \quad (\text{III.1})$$

**R (%)** : Le rendement d'huile extraite ;

**m** : la masse d'huile extraite (g);

**m<sub>0</sub>** : la masse de l'échantillon (poudre de graines) (g).

## 2. Méthodes :

### 2.1. La composition d'acides gras :

- **Appareil**

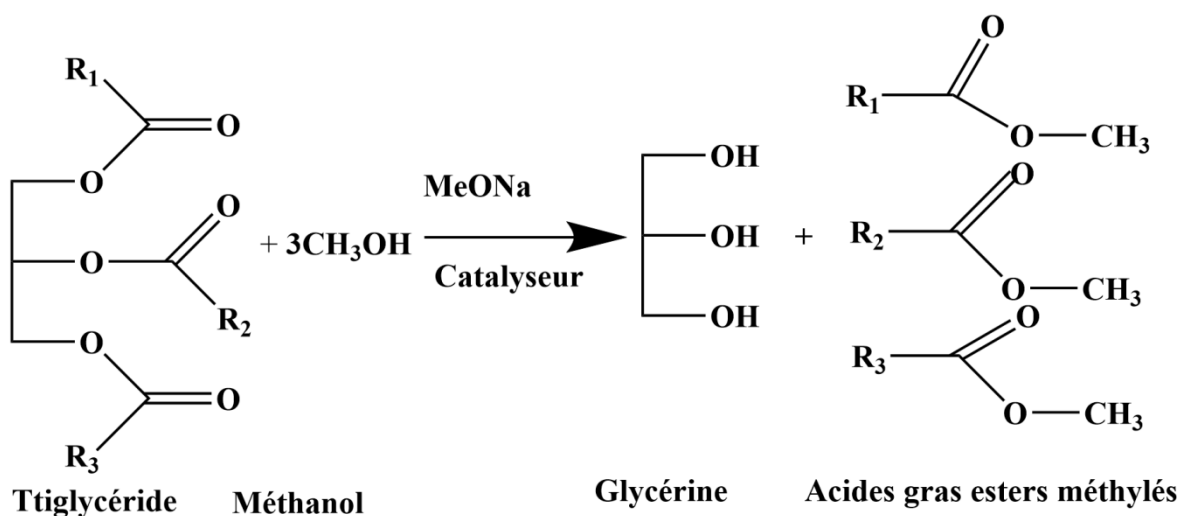
La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) est un appareil d'analyse chimique utilisé pour séparer et distinguer les produits chimiques dans un échantillon. elle utilise un tube long et étroit appelé colonne de séparation, dans lequel l'échantillon est injecté à l'intérieur, à l'aide d'une injection microscopique, puis en séparant les produits chimiques qui composent l'échantillon et en le parcourant à des vitesses différentes en fonction des différents produits chimiques et des propriétés physiques de chaque substance, et lors de la sortie des produits chimiques de la fin de la colonne, ils sont détectés par le détecteur en fonction du moment où ils quittent la colonne et se distinguent électroniquement. La chromatographie en phase gazeuse comprend :

Vecteur de gaz (phase mobile) avec régulateur de débit, colonne de séparation, estimateur et dispositif d'enregistrement, unité d'injection, four, détecteur comme indiqué en [annexe\(2\)](#) (Nasser & Schumann, 2019-2020).

- **Préparation esters méthyliques d'acides gras :**

Les lipides subissent d'abord une réaction de dérivation par transestérification. Les teneurs en esters méthyliques d'acide gras sont ensuite mesurées et analysé, en raison de leurs composés non volatils à point d'ébullition très élevé. Il ne peut pas être analysé directement par GC. Pour remédier à ce défaut, ils sont décomposés en leurs acides gras correspondants et

ces derniers sont dérivés en leurs esters méthyliques d'acides gras (FAME). Cette méthode permet d'accéder aux esters méthyliques d'acides gras via une étape comme indiqué sur la figure III.1 (Ghnimi, 2015).



**Fig.III.1** : Schéma simplifié de la réaction de transestérification (Ghnimi, 2015).

- **Analyse :**

Quantitativement, les données du GC-MS permettent d'identifier les différents composés du mélange à analyser par comparaison du spectre de masse obtenu à celui contenu dans une bibliothèque de spectres de composés.

Qualitativement, les aires des différents pics permettent de déterminer la concentration de chacun des composés présents dans le mélange étudié (Ghnimi, 2015).

Les esters méthyliques du jatropha ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse au laboratoire de recherche Amphigène, Thanjavur, Tamilnadu avec spectrométrie de masse GC-MS modèle (Clarus 500 Perkin Elmer) pour ses différents composants présents dans l'extrait. En utilisant une colonne capillaire de type (Elite-5MS (5% diphényle / 95% diméthyle polysiloxane)) (30 x 0,25 mm x 0,25 µm df). Son structure chimique dans l'annexe (2), et utiliser du gaz vecteur à 1 ml par minute, divisé : 10 : 1 et détecteur turbo block gold Birkin, en utilisant Logiciel Elmer : Turbo mass 5.2, le volume d'échantillon injecté 2 µl.

Programme thermique : 110 °C pendant 2 min braquage jusqu'à 200 °C au taux de 10 °C / min - pas d'attente jusqu'à 280 °C au taux de 5 °C / min - 9 minutes tenir l'injecteur température est de 250 °C, la librairie utilise une ligne d'entrée NIST-Année-Année 2005, température de la ligne d'entrée 200 °C.

Les conditions d'analyse par spectre de masse étaient les suivantes :

La température de la source est de 200 ° C, l'énergie de la source d'électrons est de 70 eV, balayage de masse (m / z) de 45 à 450, retard du solvant : de 0 à 2 min durée totale de fonctionnement MS : 36 minutes(Devaraj & Sciences, 2013).

- Les principaux acides gras d'huile des graines de jatropha étaient oléiques, linoléiques, palmitiques et acide stéarique(Akbar et al., 2009).
- L'huile de soja se caractérise par la présence de linoléique et oléique, Palmitique, linoléique et acides stearique, qui est insaturé une huile qui contient des proportions des deux acides gras essentiels ± linoléique et linoléique(Gunstone, 2004).

Le **tableau III.1** représenter la composition d'acides gras des différentes huiles végétales.

**Tableau.III.1** : Composition en acides gras d'huile jatropha C.L(Sarin et al, 2007).

| Acide gras                   | Nom systématique                     | Huile de Jatropha | Huile de Soja | Huile de Palm |
|------------------------------|--------------------------------------|-------------------|---------------|---------------|
| <b>Myristique (C14:0)</b>    | n-Tetradecanoicacid                  | –                 | 0.1           | –             |
| <b>Palmitique (C16:0)</b>    | Hexadecanoic                         | 14.2              | 11.0          | 40.3          |
| <b>Palmitoléique (C16:1)</b> | cis-9-Hexadecenoic acid              | 1.4               | 0.1           | –             |
| <b>Stéarique (C18:0)</b>     | Octadecanoic                         | 6.9               | 4.0           | 3.1           |
| <b>Oléique (C18:1)</b>       | Cis-9-Octadecenoic                   | 43.1              | 23.4          | 43.4          |
| <b>Linoléique (C18:2)</b>    | Cis-9,cis-12-Octadecadienoic         | 34.4              | 53.2          | 13.2          |
| <b>Linoléique (C18:3)</b>    | Cis-9,cis-12,cis-15-Octadecatrienoic | –                 | 7.8           | –             |
| <b>Arachidique (C20:0)</b>   | n-Eicosanoicacid                     | –                 | 0.3           | –             |
| <b>Béhénique (C22:0)</b>     | 1-Docosanoic acid                    | –                 | 0.1           | –             |
| <b>Saturation (%)</b>        |                                      | 21.1              | 15.5          | 43.4          |
| <b>Insaturations (%)</b>     |                                      | 78.9              | 84.5          | 56.6          |

## 2.2. Les propriétés physico-chimiques :

### 2.2.1. Les propriétés chimiques :

#### a) L'indice de saponification (NFT 60-206) :

L'indice de saponification est donc la quantité de potasse (KOH) ou (NaOH), exprimé en mg nécessaire pour saponifier 1 g de corps gras(Alloune et al, 2012). En effet, plus les molécules d'acides ont d'atomes de carbone, moins l'indice de saponification est élevé. Il rend compte de la longueur des chaînes hydrocarbonées des acides gras(MOSTEFA, 2011).

**Principe :**

L'échantillon d'huile est saponifié par reflux avec un excès connu de solution d'hydroxyde de potassium alcoolique. L'alcali nécessaire à la saponification est déterminé par titrage de l'hydroxyde de potassium en excès avec de l'acide chlorhydrique (Cassiday & MATERIALS, 2017). L'indice de saponification est égal à :

$$IS = \frac{(V_0 - V_1) \times C \times 56.1}{m} \quad (\text{III.2})$$

Où :

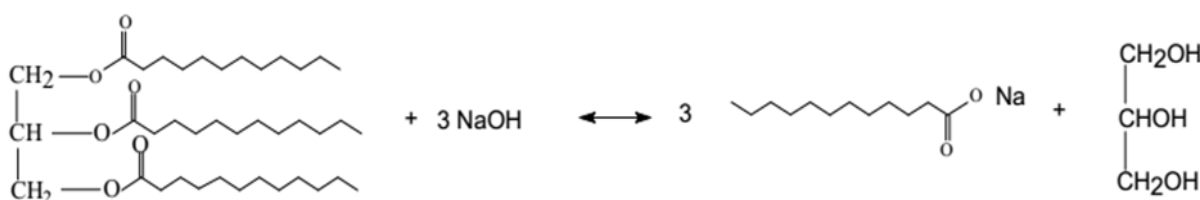
$V_0$  : est le volume, en millilitres, de l'acide chlorhydrique utilisé pour essai à blanc ;

$V_1$  : est le volume, en millilitres, de l'acide chlorhydrique utilisé pour la détermination ;

$C$  : est la concentration exacte, d'acide chlorhydrique ;

$m$  : est la masse, en grammes, de la prise d'essai (BENBADA, 2011).

La réaction de saponification est complète, irréversible et rapide est exprimé par l'équation suivant :



**Fig.III.2 :** La réaction de saponification (Bulletin, 2008).

**b) L'indice d'acide (NFT 60-204) :**

L'indice d'acide est défini comme le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium nécessaires pour neutraliser les acides gras libres présents dans un gramme de graisse. Il s'agit d'une mesure relative du rancissement car les acides gras libres se forment normalement lors de la décomposition des glycérides d'huile. La valeur est également exprimée en pourcentage d'acides gras libres (Cassiday & MATERIALS, 2017).

Cet indice indique le degré d'altération des esters (essentiellement des triglycérides) présents dans les corps gras. Après avoir pesé exactement 0,5 g d'huile dans un erlenmeyer de 250 ml. On les dissout avec 100 ml d'éthanol 95% /oxyde d'éthyle. On dose avec une solution de KOH éthanolique de normalité 0,5 N après avoir ajouté 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine jusqu'à coloration rose persistant, pour les calculs :

$$IA = \frac{56.1 \times V \times C}{m} \quad (\text{III.3})$$

56,1 : est la masse molaire (g/moles) de l'hydroxyde de potassium ;

V : est le volume (ml) d'hydroxyde de potassium utilisé ;

C : est la concentration exacte, en moles par litre, de la solution titrée d'hydroxyde de potassium utilisée ;

m : est la masse en grammes de la prise d'essai (MOSTEFA, 2011).

**c) L'indice d'iode (NFT 60-203) :**

L'indice d'iode est le nombre de gramme d'iode fixés par 100 g de corps gras. Cet indice nous renseigne sur le degré d'insaturation globale des chaînes grasses analysées, plus une huile est insaturée, plus l'indice d'iode est élevé. L'indice d'iode est déterminé par la relation suivante :

$$I_i = \frac{((V_0 - V_1) \times C \times 12.69)}{m} \quad (\text{III.4})$$

V<sub>0</sub> : est le volume de thiosulfate de sodium (ml) nécessaire pour l'essai à blanc ;

V<sub>1</sub> : est le volume de thiosulfate de sodium (ml) nécessaire pour la détermination ;

C : est la concentration exacte, en moles par litre, de la solution titrée de thiosulfate de sodium utilisée.

m : est la masse (g) de la prise d'essai (Alloune et al., 2012).

**d) Indice de cétane :**

L'indice de cétane est utilisé pour évaluer la capacité d'auto-inflammation d'un diesel sur une échelle de 0 à 100. Il mesure la capacité d'huile à s'enflammer sous pression. Air emprisonné dans le cylindre, une échelle zéro est donnée pour cet indicateur avec la valeur du méthyl-naphtalène qui a une force anti-inflammatoire et une valeur de 100 fournie par un allumeur facilement inflammable. Cet indice caractérise le délai entre l'injection et la combustion. Plus il est élevé, plus le carburant est facilement inflammable (démarrage à froid-aisé). Les huiles végétales et les mélanges ont des indices de cétane relativement faibles comparés au diesel (Bettahar et al, 2016).

En effet, plus la valeur de l'indice de cétane est élevée, plus le délai d'inflammation du combustible est court. Plus la combustion est facile et plus la quantité de matières brûlées (hydrocarbures, monoxyde de carbone, etc.) est faible (Bulletin, 2008).

**e) Nombre d'aster :**

La valeur du nombre d'ester des échantillons de biodiesel était calculé comme la différence entre l'indice de saponification et l'indice d'acide donc (KERRAS et al, 2018) :

$$\text{Nombre d'ester} = \text{l'indice de saponification} - \text{l'indice d'acide}$$

**2.2.2. Les propriétés physiques :****i. Indice de réfraction (NFT 60-212) :**

Le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide à la vitesse de la lumière dans une huile ou une graisse; Plus généralement, il exprime le rapport entre l'angle d'incidence du sinus et l'angle de réfraction de la sinusoïde lorsqu'un faisceau lumineux d'une longueur d'onde de 589,3 nm passe de l'air à l'huile à une température donnée. L'indice de réfraction varie avec la température et la longueur d'onde, et avec l'insaturation. L'indice de réfraction augmente avec le degré d'insaturation des acides gras présents dans les graisses (Cassiday & MATERIALS, 2017).

**Principe :**

L'indice de réfraction est mesuré à l'aide de réfractomètre de type Abbe thermostaté, regarde l'annexe (2). Il est lié à la température. Il est mesuré à 20 °C pour les huiles fluides et à 40°C pour les graisses.

La surface du prisme du réfractomètre est nettoyée et essuyée avec du papier Joseph et, après étalonnage avec de l'eau distillée à 20°C, quelques gouttes d'huiles sont déposées sur le prisme.

La fenêtre de lecture donne directement la valeur de l'indice de réfraction à la température « t » en degré Celsius.

Afin de ramener la valeur de cet indice de réfraction mesuré pour un liquide à une température « t », à la valeur référencée à  $T = 20^\circ\text{C}$ , on peut utiliser une relation affine valable pour de faibles écarts de température : si la différence entre la température de mesurage  $t$  et la température de référence  $T$  est inférieure à  $3^\circ\text{C}$ , l'indice de réfraction  $N_D^T$  à la température de référence  $T$  est donnée par la formule :

$$\text{a) si } t > T \quad N_D^T = N_D^t + (t - T) \times F \quad (\text{III.5})$$

$$\text{b) si } t < T \quad N_D^T = N_D^t + (T - t) \times F \quad (\text{III.6})$$

$t$  : température de la détermination;

$T$  : température de référence qui est  $20^\circ\text{C}$  pour les huiles;

F : facteur de correction, fonction de la température, égal à 0.00035 pour T= 20°C, pour les huiles;

$N_D^t$  : l'indice de réfraction pris sur le réfractomètre(MOSTEFA, 2011).

### ii. La densité (NFT 60-214) :

La densité d'une substance est égale à la densité de la substance divisée par la densité du corps de référence à la même température. un pycnomètre de 10 ml comme montre dans l'annexe(2) a été pesé vide ( $m_0$ ) puis rempli avec de l'eau et pesé ( $m_1$ ), après avoir rempli le pycnomètre avec du biodiesel produit, nous avons enregistré la poids ( $m_2$ ). Les mesures ont été effectuées à la même température de 20 °C et la densité est donnée par la formule (KERRAS et al, 2018) :

$$D^{20} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \quad (\text{III.7})$$

$m_0$  : masse du pycnomètre vide;

$m_1$  : masse du pycnomètre rempli d'eau distillée;

$m_2$  : masse du pycnomètre rempli d'huile.

La densité constitue une caractéristique importante, principalement pour les biocarburants, car elle conditionne le dimensionnement et les particularités technologiques des organes d'alimentation (pompes, injecteurs). De plus, sur un système installé, une utilisation de biocarburants de densité largement différentes, entraînerait des modifications de réglages de combustion avec des répercussions sur la puissance maximale, le rendement et les émissions de polluant(Bettahar et al, 2016).

### iii. Pouvoir calorifique :

Le pouvoir calorifique représente l'énergie dégagée sous forme de chaleur par la réaction de combustion par l'oxygène. Il s'agit de la quantité d'énergie libérée lors de la combustion d'un kilogramme de carburant(Bettahar et al, 2016). Plus le PCI d'un carburant est élevé plus sa consommation sera réduite. La transestérification est sans effet majeur sur le PCI(Bulletin, 2008).

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) qui représente la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité massique de ce corps, est calculé à partir d'une équation faisant intervenir les indices d'iode ( $I_i$ ) et de saponification ( $I_s$ ). L'équation s'écrit comme suit (Alloune et al, 2012) :

$$PCS = 49.43 - 0.041(I_S) - 0.015(I_I) \quad (III.8)$$

#### iv. La viscosité :

C'est également une propriété importante elle influe sur le fonctionnement de l'injecteur en diminuant la pression d'injecteur et en rendant plus difficile l'atomisation du gazole dans la chambre de combustion. La viscosité cinématique  $\nu$  d'un gazole routier à 40 °C doit être entre 3.5 et 5.0 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> (Bulletin, 2008).

Mesuré avec un chronomètre le temps nécessaire pour le liquide pour parcourir la distance entre les deux la viscosité est alors donnée par la formule :

$$\nu = \frac{V}{d \times t} \quad (III.9)$$

$\nu$  : La viscosité cinématique (mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>);

$V$  : le volume de biodiesel (mm<sup>3</sup>);

$D$  : distance entre les deux lignes (mm);

$t$  : le temps requis par le volume de biodiesel pour s'écouler entre les lignes.

#### v. Taux de conversion :

Le taux de conversion en biodiesel est défini comme le rapport entre la masse de biodiesel produit et la masse d'huile utilisée (KERRAS et al., 2018).

$$n = \frac{m_{biodiesel}}{m_{huile}} \times 100 \quad (III.10)$$

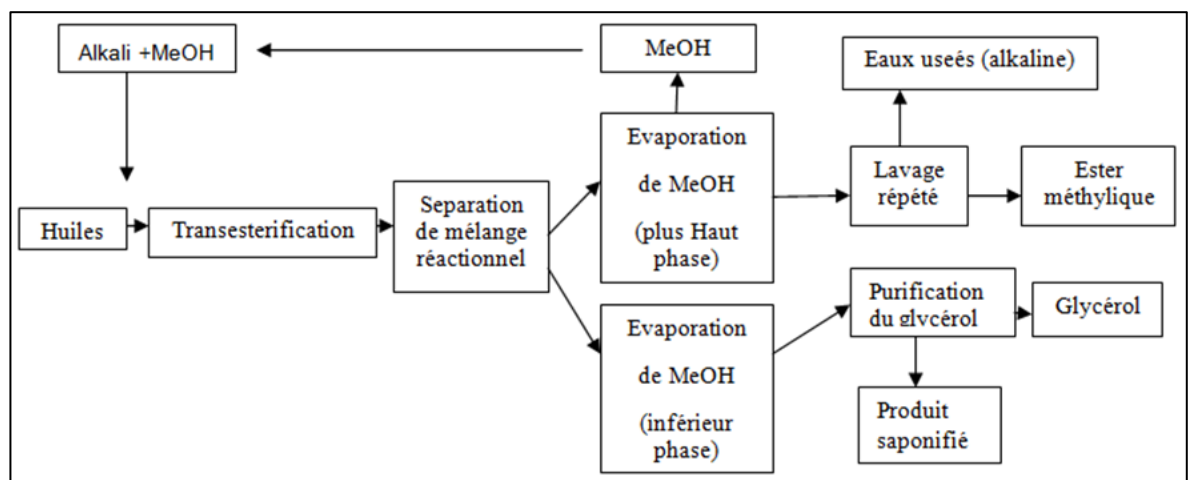
Il existe plusieurs propriétés physico-chimiques appelées constantes d'huiles et de graisses qui font partie des matières Caractéristique, qui concerne le type et le degré de pureté des huiles et graisses, les caractéristiques de leur composition chimique, et en particulier la qualité des acides gras inclus dans leur composition (formation de triglycérides) en termes de longueur de la chaîne carbonée et de degré de saturation, en plus de la mesure dans laquelle ils contiennent des composés autres que les triglycérides, ainsi que toujours dans des limites spécifiques, Et ce n'est pas un nombre fixe. Nous représentons comme exemple les résultats des constantes physiques et chimiques obtenues à (Almagran et al, 2011) dans le tableau suivants :

**Tableau.III.2.** Propretés physico-chimiques d'huile jatropha C.L(Taha et al, 2019; Tiwari et al, 2007; Silitonga et al, 2011).

| Propreté                                    | Huile de jatropha | Huile de soja |
|---------------------------------------------|-------------------|---------------|
| Densité à 15° C (g/l)                       | 0.920             | 0.9138        |
| Viscosité à 40 °C (mm <sup>2</sup> /s)      | 35.4              | 32.9          |
| Le degré de flash ° C                       | 240               | 254           |
| Indice d'acide (mg KOH/g)                   | 11                | 0.2           |
| Valeur calorifique MJ. Kg <sup>-1</sup>     | 38.65             | 38.038        |
| Indice de cétane                            | 23                | 37.9          |
| Indice d'iode (g/100 g)                     | 110               | 101           |
| Saponification value (mg. g <sup>-1</sup> ) | 209               | 202           |

### 2.3. Production de biodiesel :

Le Fig.III.3 représente les étapes de production de biodiesel (ester méthylique) avec les produits secondaires (glycérol, produit saponifié, eaux usées).



**Fig.III.3 :** le chemin principe de Production de biodiesel(Fukuda et al, 2001).

#### 2.3.1. Transestérification :

Transestérification est un processus chimique dans lequel les graisses ou les huiles interagissent avec l'alcool pour former des esters alkyls d'acides gras, des esters méthyliques et éthyliques (qui sont d'excellentes alternatives au biodiesel) et de la glycérine tels que montre dans le Figure. III.4(Parawira & Essays, 2010).

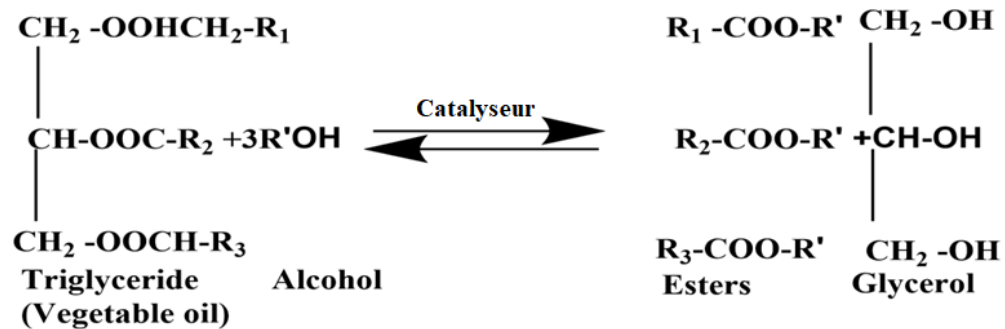


Fig.III.4 : équation générale de la transestérification (Schuchardt et al, 1998).

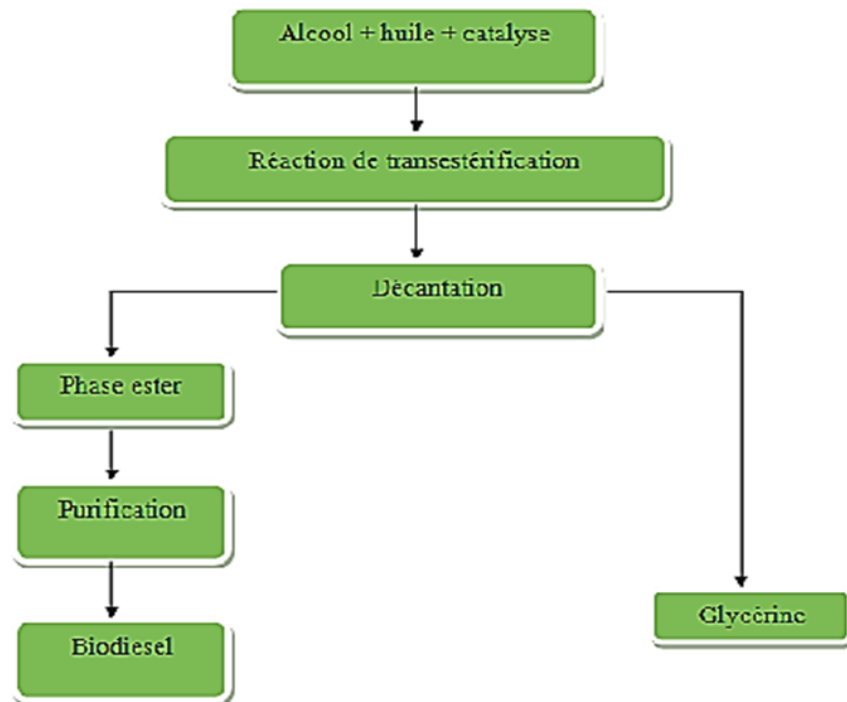
Le processus global est une séquence de trois réactions consécutives et réversibles, dans lesquelles des diglycérides et monoglycérides se forment comme intermédiaires comme indiqué en annexe (2). la réaction stœchiométrique nécessite 1 mole de triglycéride et 3 moles d'alcool. Cependant, un excès d'alcool est utilisé pour augmenter les rendements des esters d'alkyle et pour permettre sa séparation de phases du glycérol formé (Koh et al., 2011).

Ce procédé est réalisé en chauffant de l'alcool avec de l'huile végétale dans différentes conditions de réaction en présence d'un catalyseur inorganique. C'est la méthode la plus courante de production de biodiesel (Parawira & Essays, 2010).

La production de biodiesel par transestérification huileuse se produit généralement selon les étapes suivantes et comme montre dans la figure.III.5 :

1. Mélanger l'alcool avec un catalyseur: Pour ce procédé, nous définissons un volume de méthanol et un volume de NaOH/KOH (mélangé dans un ballon à fond circulaire).
2. La réaction: Après cela, le mélange (alcool, catalyseur) est ajouté et d'huile de jatropha est ajoutée dans le récipient de réaction fermé, et de l'alcool est utilisé pour assurer le transfert complet de la graisse ou d'huile à ses esters.
3. Séparation du glycérol et du biodiesel: Une fois la réaction terminée, il existe deux principaux produits : le glycérol et le biodiesel. La quantité de glycérine produite varie en fonction d'huile utilisée, du procédé utilisé et de la quantité d'alcool utilisée. La glycérine et le biodiesel contiennent une grande quantité d'alcool qui a été utilisée dans la réaction. Le mélange est parfois neutralisé dans cette étape si nécessaire.
4. Enlèvement d'alcool.
5. Neutralisation de la glycérine: Les sous-produits contiennent de la glycérine, qui est un catalyseur inutilisé et du savon qui est neutralisé avec de l'acide et envoyé au stockage sous forme de glycérol brut. Le sel peut se former pendant cette étape et il sera retiré pour être utilisé comme engrais. Parfois, le sel est laissé dans la glycérine.

## 6. Lavage de l'ester méthylique(Rao et al, 2008).



**Fig.III.5 :** les étapes de la production de biodiesel(ANNOU & CHIBANI, 2016).

Les aspects les plus importants du biodiesel produits pour assurer un fonctionnement sans problème dans les moteurs diesel sont la réaction complète, l'élimination de la glycérine, l'élimination du catalyseur, l'élimination de l'alcool et l'absence d'acides gras libres(Rao et al., 2008).

### 2.3.2. L'effets des paramètres :

Dans cette partie, nous suivons les conditions idéales pour la réaction de transestérification pour synthétiser l'ester méthylique (Biodiesel) d'huile des graines de jatropha :

- Le rapport massique méthanol / huile (6 : 1) pour augmenter la solubilité des glycérides dans l'alcool.
- La quantité de catalyseur de (0.5 à 1%) par rapport à la masse initiale d'huile des graines de jatropha.
- La température de réaction est de 60 à 80 °C.

**❖ Température de réaction :**

La vitesse de réaction est fortement influencée par la température de réaction. Une surchauffe de la réaction peut réduire la viscosité les huiles sont donc un rendement en biodiesel.

Cependant, la température de réaction doit être inférieure au point d'ébullition de l'alcool (le point d'ébullition du méthanol à 60-70 ° C à la pression atmosphérique) pour s'assurer qu'il n'y a pas d'alcool. Il est perdu par évaporation. De plus, la production de biodiesel est réduite si la température de réaction dépasse son niveau optimal en raison de :

Plus la température de réaction est élevée, plus la réaction de saponification s'accélère, ce qui conduit à un rendement inférieur. Le débit maximal est obtenu à des températures de 60 à 80 ° C(Koh et al., 2011).

**❖ L'effet d'humidité et des acides gras libres :**

Effets de l'humidité et des acides gras libres pour la transestérification alcalinisée, les glycérides et l'alcool doit être substantiellement anhydre, car l'eau provoque une modification partielle de la réaction en saponification, qui produit savon. Le savon consomme, le catalyseur et réduit là l'efficacité catalytique, ainsi que l'augmentation de la viscosité, la formation de gels et la difficulté de réaliser la séparation du glycérol. A suggéré que le libre la teneur en acides gras d'huile raffinée doit être aussi faible que possible, inférieure à 0,5%(Fukuda et al., 2001).

**❖ Rapport alcool / huile :**

La réaction de transestérification nécessite 3 moles d'alcool par mole de triglycéride pour donner 3 moles d'esters gras et 1 mole de glycérol. Afin de déplacer la réaction vers la droite, il est nécessaire soit d'utiliser un excès d'alcool ou de retirer l'un des produits de la réaction mélange. La deuxième option est généralement préférée pour que la réaction se poursuive.

La vitesse de réaction s'est avérée être la plus élevée lorsque 100% de méthanol en excès a été utilisé. Une molaire le rapport de 6 : 1 est normalement utilisé dans les processus industriels pour obtenir de rendement en ester méthylique plus élevés à 98% (p / p) (Barnwal, Sharma, & reviews, 2005).

**❖ Temps de réaction :**

Le taux de conversion augmente avec le temps de réaction et est donc important dans le processus de transestérification(Chakrabarti & Prasad, 2012). La réaction a été lente en raison

du mélange et de la dispersion de l'alcool dans l'huile. Après un certain temps, la réaction se déroule plus rapidement jusqu'à ce que le rendement maximum. Pour transestérification catalysée par une base, le rendement en biodiesel atteint maximum à un temps de réaction de 120 min ou moins. La transestérification acide catalysée nécessite un temps de réaction encore plus long que la réaction catalysée par une base, car les catalyseurs de base présentent généralement une réactivité plus élevée que les catalyseurs acides. Le temps nécessaire à la conversion des triglycérides en biodiesel est 6 h.

Cependant, un temps de réaction excessif entraînera une réduction du rendement du produit dû à la réaction inverse de transestérification, provoquant plus d'acides gras pour former des savons(Koh et al., 2011).

#### ❖ Type de catalyseur :

La transestérification catalysée par un alcali est beaucoup plus rapide que la transestérification catalysée par un acide et est moins corrosive pour les équipements industriels et est donc la plus souvent utilisée commercialement. L'hydroxyde de sodium ou l'hydroxyde de potassium est utilisé comme catalyseur basique avec le méthanol ou l'éthanol ainsi que l'huile végétale. L'hydroxyde de sodium est moins cher et est largement utilisé dans le traitement à grande échelle. La concentration de catalyseur alcalin dans la gamme de 0,5 à 1% en poids donne une conversion de 94 à 99% de la plupart des huiles végétales en esters (Parawira & Essays, 2010).

#### 2.3.3. Les caractéristiques physico-chimiques de biodiesel :

Le **tableau.III.3** représente les propriétés de carburant des esters méthyliques (biodiesel) de diverses huiles végétales. Bien qu'à l'heure actuelle, le biodiesel ne puisse pas remplacer entièrement le carburant diesel à base de pétrole, ce carburant alternatif prend de plus en plus d'importance en raison de la diminution des réserves de pétrole qui entraîne une augmentation des prix du pétrole et des conséquences environnementales des gaz d'échappement des moteurs à pétrole.

**Tableau.III.3.** Caractéristiques physico-chimiques de biodiesel(Moreira, 2009; Patil & Deng, 2009).

| Propriétés                     | Biodiesel de Jatropha | Biodiesel de Soja | Biodiesel standard ASTM D 6751-02 |
|--------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Densité g/l                    | 0.86–0.88             | 0.880             | 0.87–0.90                         |
| Viscosité (mm <sup>2</sup> /s) | 2.35–2.47             | 4                 | 1.9–6.0                           |
| Valeur Calorifiques (MJ/kg)    | 39.65–41.63           | 39.8              | –                                 |
| L'indice d'iode (mg/KOH/g)     | 0.61–0.66             | 120-140           | 0.8 max                           |
| Numbers de Cétane              | 60.74–63.27           | 45.7-56           | 47 min                            |
| Point d'écoulement (°C)        | –6 to 2               | –7                | –15 to 10                         |

### 3. Discussion :

#### 3.1. La composition des acides gras :

Les propriétés des triglycérides et du biodiesel sont déterminées par les quantités de chaque acide gras présent dans les molécules. La longueur de la chaîne et le nombre de doubles liaisons déterminent les propriétés physiques des acides gras et des triglycérides (Mittelbach & Remschmidt, 2004). la transestérification ne modifie pas la formation des acides gras des matières premières et cette composition joue un rôle important dans certaines propriétés physico-chimiques du biodiesel, comme le nombre de cétanes et l'écoulement à froid(Ramos et al, 2009).

Les huiles sont un mélange d'acides gras saturés (C16: 0, C14: 0, etc.) et insaturés (C18: 3, C18: 2, C 18: 1), l'huile de jatropha fait partie des huiles les plus insaturées telles que le soja et le palme. Il contient un pourcentage d'acides gras insaturés (78.9%)(Ali, 2017).

#### 3.2. Les propriétés physico-chimiques :

##### 3.2.1. Les propriétés physico-chimiques des huiles :

La qualité d'huile est exprimée en termes des propriétés physicochimiques telles que l'indice d'acide, l'indice de saponification, l'indice d'iode(Patil & Deng, 2009).

**❖ Indice de saponification et indice d'acide :**

La masse molaire d'acides gras dans la formulation d'huile augmente lorsque l'indice de saponification est faible. Si l'on considère que l'huile est constituée de triglycérides purs, alors l'indice de saponification lui permet de connaître sa masse molaire, c'est-à-dire sa structure, et indique également le poids moyen des acides gras présents dans cette huile. Il a été constaté que plus le pourcentage d'acides gras à chaîne courte est élevé, plus l'indice de saponification est élevé, en raison de l'augmentation du nombre des molécules d'acides gras à chaîne courte associées au glycérol pour former des triglycérides pour ces graisses(Almagran et al, 2011).

Les graisses contiennent des quantités variables d'acides gras libres, dont le pourcentage augmente parfois pendant le traitement et le stockage. Les graisses correctement raffinées sont pratiquement dépourvues d'acides gras libres. Quant aux graisses brutes, ou dans lesquelles des processus de dégradation se sont produits sous l'action d'enzymes, d'humidité ou des certains facteurs auxiliaires, elles contiennent des acides gras libres et la quantité de ces acides augmente avec l'augmentation de la décomposition. Il est normal que la qualité des corps gras soit affectée par le pourcentage d'acides libres qu'ils contiennent. L'acidité d'huile peut être exprimée par l'indice d'acide. Si le nombre de saponification est estimé, alors l'indice d'acidité, la différence entre eux est l'indice d'ester, qui indique la quantité de glycérides dans l'huile(Kakheya, 2006).

**❖ Densité relative (gravité spécifique) :**

La détermination de la densité est l'un des critères de pureté de l'huile, et elle dépend de la composition chimique et de la température des huiles. Où, la densité relative de la plupart des huiles végétales est comprise entre (0,900 et 0,930), et donc, la densité relative des graines oléagineuses à haute teneur en huile est inférieure à un. Selon leur densité, les oléagineux sont divisés en deux groupes, le premier ayant une densité relative inférieure à un et le second à plus d'un(Kakheya, 2006).

La densité peut ne pas sembler une propriété physique attrayante pour de nombreux technologies, mais elle est très importante dans l'industrie pétrolière où les marchandises sont vendues sur la base du poids mais mesurées sur la base du volume. Ces deux valeurs sont liées à la densité, il est donc important d'avoir des valeurs correctes et convenues pour cette unité. Pas la même chose pour toutes les huiles(Pantzaris, 1985).

**❖ La Viscosité :**

La viscosité d'huile reflète sa résistance à son écoulement, Il représente les forces de frottement internes et dépend fortement de la température(Khiari, 2016). Les triglycérides sont plus visqueux que les acides gras qui les composent car ils sont liés à leur structure moléculaire, augmentent la longueur de la chaîne carbonée et réduisent le nombre de doubles liaisons par rapport aux carburants diesel comme suggéré(Goering et al, 1982). La viscosité varie avec différentes températures, et la viscosité des acides gras et des triglycérides dépend de leur qualité, en particulier de la longueur de la chaîne en acides gras et du degré de leur insaturation, et l'augmentation de la masse moléculaire conduit à une augmentation de la viscosité, tandis que le degré d'insaturation conduit à une diminution de la viscosité, et la viscosité d'huile est considérée comme élevée car elle contient des grosses molécules Il se déplace lentement en raison des forces d'attraction internes entre les chaînes aliphatiques de la molécule de glycéride(Kakheya, 2006).

**❖ Point de trouble :**

Le point de trouble est la température à laquelle le dépôt dans l'huile est observé, ou la température à laquelle l'huile commence à durcir ; La prédiction du comportement permet une huile à basse température. En effet, pour faire fonctionner le moteur à des températures inférieures au point de trouble, il est nécessaire de le réchauffer pour éviter le paraffinage du carburant(Khiari, 2016).

**❖ Indice d'iode :**

Il indique le nombre de doubles liaisons et donc le degré d'insaturation du corps gras. Les huiles sont divisées selon leur indice d'iode en huiles sèches, semi-séchées et non séchées (Kakheya, 2006), où l'indice d'iode diminue dans les graisses dans lesquelles le pourcentage d'acides gras saturés est élevé et le pourcentage d'acides gras insaturés diminue comme c'est le cas pour l'huile de palme et vice versa(Almagran et al, 2011).

**❖ Indice de réfraction :**

L'estimation de l'indice de réfraction dépend de l'ampleur de la réfraction des ondes lumineuses qui traversent un liquide ou un solide transparent, où ce coefficient est diminué à mesure que la proportion d'acides gras saturés augmente, et d'acides de carbone à chaîne courte dans la graisse ou l'huile, comme c'est le cas dans la graisse du lait et l'huile de palme.

Alors que l'indice de réfraction augmente à mesure que la proportion d'acides gras insaturés augmente(Almagran et al, 2011).

### **3.2.2. Les propriétés physico-chimiques de biodiesel :**

Les propriétés du carburant à savoir, densité à 15°C, viscosité cinématique à 40°C, point d'écoulement, indice d'acide et pouvoir calorifique d'huile de jatropha, le biodiesel de jatropha et le diesel conventionnel étaient déterminé selon les méthodes prescrites et comparé aux dernières normes américaines et européennes (Tiwari et al, 2007).

#### **❖ Viscosité et densité :**

La viscosité est étroitement liée à la densité, Où la densité du carburant est liée à l'émission des particules. (Mullins & DRIVES, 1994) ont rapporté qu'une augmentation de la densité du carburant augmente les émissions des particules(Mohamed et al, 2005). La viscosité des carburants liquides est une caractéristique importante car elle détermine la facilité d'écoulement dans les canalisations, les injecteurs et la composition du carburant dans le cylindre, et parce qu'elle est directement liée au système d'injection dans le moteur. La viscosité élevée des huiles végétales affecte la fluidité et la composition du brouillard de carburant pendant la combustion, ce qui peut également conduire à une combustion incomplète et à des dépôts de carbone lors de l'injection. Il en résulte des émissions de fumée plus élevées. Ces problèmes sont exacerbés dans les moteurs diesel modernes, qui ont des systèmes d'injection directe et sont plus sensibles aux problèmes de qualité du carburant et de formation d'aérosols que les systèmes d'injection indirecte(Ali, 2017).

#### **❖ Indice de cétane :**

Il s'agit d'une mesure de la qualité de la combustion et signifie que plus l'indice de cétane est élevé, plus le délai d'allumage est court. Cela améliore également la qualité de l'allumage en raccourcissant le délai, ce qui augmente finalement la période de combustion, car le biodiesel a généralement une chaîne d'acides gras plus longue, L'indice de cétane est plus élevé que le diesel(Ali, 2017). Où, le carburant avec un indice de cétane plus élevé est brûlé lorsque le mélange d'air comprimé dans le cylindre est à une température inférieure par rapport au carburant avec un indice de cétane inférieur(Tohma, 2008).

**❖ Chaleur de combustion :**

La valeur calorifique est une mesure du contenu énergétique du carburant. Parce que c'est la chaleur du carburant à l'intérieur du moteur qui permet au moteur d'effectuer le travail. (Freedman & Bagby, 1989) indique que la chaleur globale de combustion augmente avec l'augmentation de la longueur de la chaîne. Puisque le biodiesel contient 11% d'oxygène en poids ; La valeur calorifique du carburant est relativement inférieure à celle du diesel fossile. En raison de la haute densité et du faible pouvoir calorifique du biodiesel, la puissance et le couple sont inférieurs à ceux du diesel (Ali, 2017).

**❖ Point de trouble et point d'écoulement :**

Le point de trouble et le point d'écoulement sont importants pour prédire la température à laquelle le carburant est suffisamment liquide pour être pompé ou transporté. C'est donc d'une grande importance pour le moteur tournant dans les climats froids. Les deux caractéristiques peuvent également indiquer la direction de distribution du filtre et les problèmes de débit de carburant (Mohamed et al, 2005).

**❖ Valeurs d'acides :**

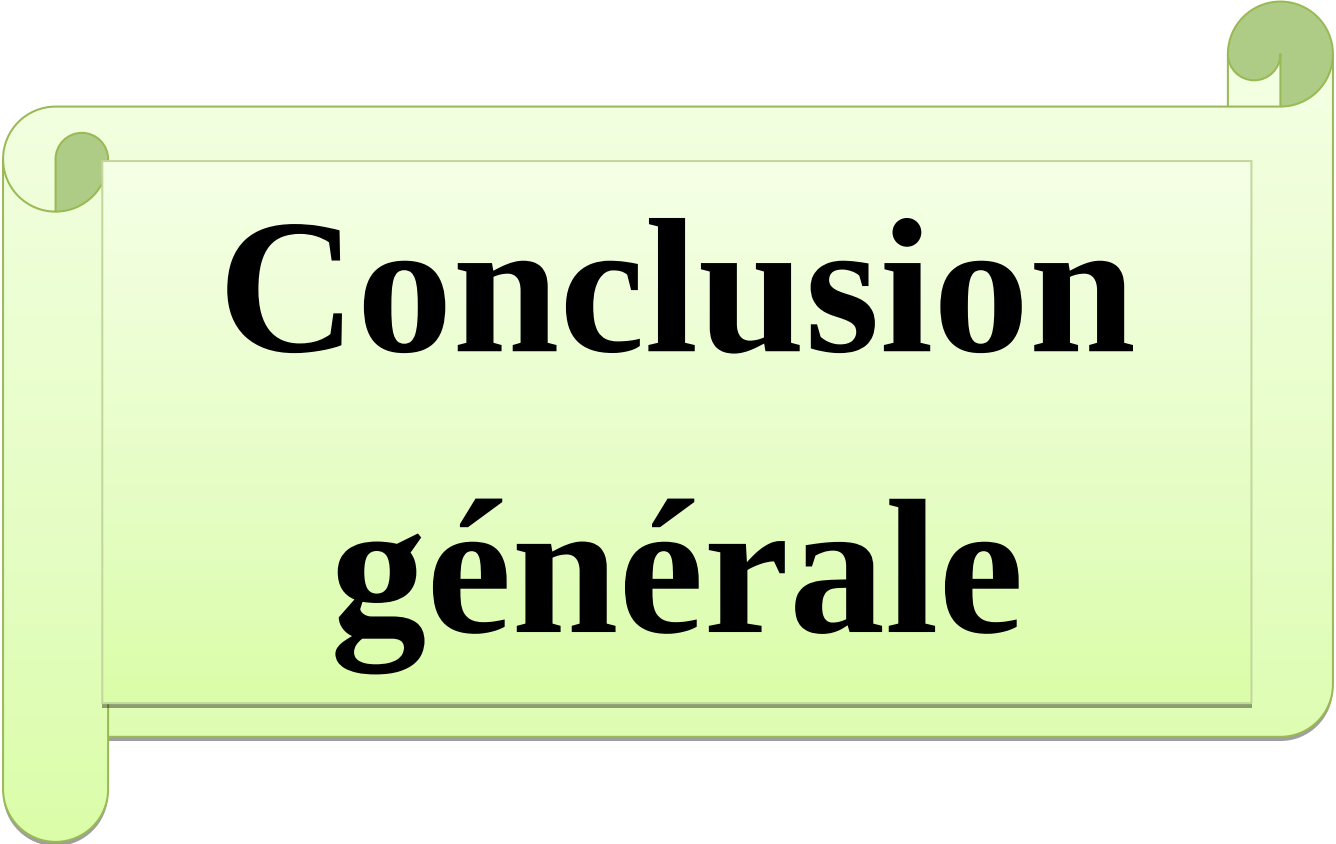
Les produits pétroliers peuvent contenir des composants acides présents comme additifs ou comme produits de dégradation. Tels que, les produits d'oxydation. Pendant le service, l'indice d'acide peut être utilisé comme guide dans le contrôle de la qualité du carburant (Mohamed et al, 2005). L'indice d'acide est très important dans la conception du moteur pour garantir un carburant sans corrosion dans les moteurs diesel, et cette valeur augmente généralement avec l'augmentation du temps de stockage en raison de la formation de particules plus polaires. Ces molécules polaires peuvent subir une auto-oxydation pendant un long stockage du biodiesel (Ali, 2017).

**❖ Nombre d'ester :**

La teneur en esters des biocarburants exprime la mesure dans laquelle les huiles végétales sont converties en leurs biocarburants correspondants. Bien que, la teneur en esters ne soit pas adoptée comme norme pour la bonne qualité de biocarburant, cette caractéristique est importante dans le choix de la source de carburant à des fins commerciales (Ali, 2017).

**Conclusion :**

Cette étude a révélé que le biodiesel peut être produit avec succès à partir d'huile de jatropha et de soja. Les effets des divers facteurs tels que le temps de réaction, la température, la concentration du catalyseur et le rapport des réactifs sur le rendement du biodiesel ont été analysés. Il a également été étudié que les principaux acides gras d'huile des graines de jatropha et de soja. D'autre part, l'extrait d'huile a de bonnes propriétés physico-chimiques et peut être utile comme matières premières pour le biodiesel et les applications industrielles. La façon de réduire le coût de production du biodiesel est d'utiliser des matières premières moins chères contenant des acides gras tels que des huiles non-comestibles, des graisses animales, des huiles comestibles usagées et des sous-produits d'huiles végétales raffinées. En l'absence d'utilisations alimentaires concurrentes, cette caractéristique attire l'attention sur le jatropha curcas, qui pousse dans les climats tropicaux et subtropicaux du monde en développement.



# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Dans cette étude, un sujet très sensible est abordé, celui de trouver une source alternative pour la production de biodiesel à base de graisses naturelles, qu'elles soient végétales ou animales, afin de réduire les coûts élevés liés à l'utilisation de combustibles fossiles et de préserver l'environnement. Parmi ces plantes figure le jatropha et le soja. Cependant, le jatropha est meilleur que le soja et d'autres huiles commerciales, car non-comestible. Et pour sa capacité à se développer dans tous les environnements agricoles. Et aussi parce que ses graines contiennent un pourcentage important d'huile, et qu'elle peut répondre à une grande partie des besoins énergétiques dans le monde.

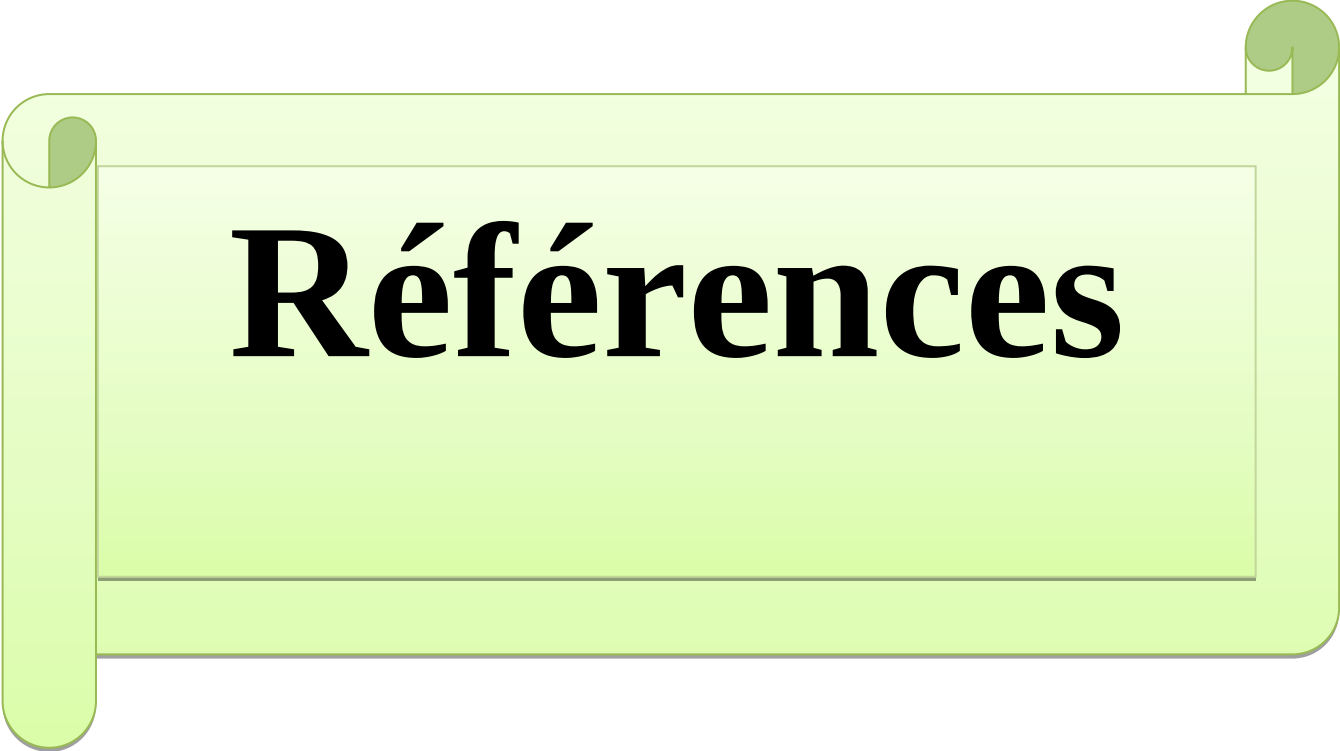
L'huile de jatropha est principalement contentée d'acide oléique, d'acide linoléique, d'acide palmitique et d'acide stéarique. Inversement, l'huile de soja est principalement contentée aussi d'acide linoléique, d'acide oléique, d'acide palmitique et d'acide linoléique. Les propriétés physico-chimiques d'huile de jatropha sont satisfaisantes et répondent aux critères d'utilisation comme carburant, ce qui en fait une matière première potentielle pour la production de biodiesel.

Il existe plusieurs méthodes proposées pour produire du biodiesel, la méthode la plus courante étant la transestérification des huiles végétales. Les facteurs influençant ce dernier comprennent : le rapport molaire de l'alcool aux glycérides, la quantité de catalyseur nécessaire, ainsi que la température et la durée de la réaction.

Les propriétés physico-chimiques du biodiesel de jatropha sont liées aux propriétés physico-chimiques d'huile de jatropha. Il était conforme à la norme de biodiesel applicable au niveau international. Sauf, l'indice de cétane, car le biodiesel de jatropha contient un indice de cétane élevé par rapport au biodiesel standard et au biodiesel de soja, ce qui en fait un carburant alternatif idéal et ne nécessite aucune réparation de moteur pour fonctionner.

### Les propositions:

- ❖ Étudier la possibilité d'utiliser la glycérine produite et l'utiliser dans la production de savon.
- ❖ Trouvez des solutions pour détoxifier l'huile de Jatropha et de l'utiliser à plusieurs fins.
- ❖ Étudiez les autres parties de la plante Jatropha.
- ❖ Étudiez les utilisations d'huile dans d'autres domaines tels que : les cosmétiques, les produits médicaux, les pesticides et autres.



# **Références**

- ✓ الأمين، هـ. أ. (2011/01). التقرير السادس والعشرين ذهب الصحراء (الجatropha curcas). Retrieved from ادارة الترويج والدراسات والاستثمار قسم الدراسات :
- ✓ عميرة، م. ح. ز. أ. (2018/08). أفاق زراعة الجatropha وإنتاج الوقود الحيوي في الأردن Electronic . Interdisciplinary Miscellaneous Journal (EIMJ) المجلة الإلكترونية الشاملة متعددة التخصصات 05، 17.
- ✓ المقرن، د. ح. ب. ع.، الصقير، د. ع. ب. ع.، العبادي، د. ن. ب. م.، العمود، د. أ. ب. إ.، الشبانة، د. ع. ب. ع.، المنيع، د. م. ب. ع.، & الغامدي، د. م. ب. م. (2011/04). الزيوت والدهون (الجزء الأول). مجلة مدينة عبد العزيز للعلوم والتقنية .
- ✓ طعمة، ل. ط. (2008). تحسين مواصفات وقود الديزل Diesel Oil باستعمال طريقة الاستخلاص بالمذيبات. مجلة ابحاث البصرة، 34(1). 49-59. B)
- ✓ علي، د. ع. م. (2017). دراسة انتاج الوقود الحيوي من بذور القطنواستخدامة كبديل لوقود الديزل Anbar . Journal of Engineering Sciences, 7(2).
- ✓ كاخيا، ط. إ. (2006). تحاليل الزيوت والدهونوموادها الأولية والمساعدة.
- ✓ ناصر، د. ه.، & شومان، د. ف. (2019 - 2020). مقرر التحليل الآليالجزء العملياطلاب السنة الثالثة. جامعة الشامالخاصة. Al-Sham Private University.

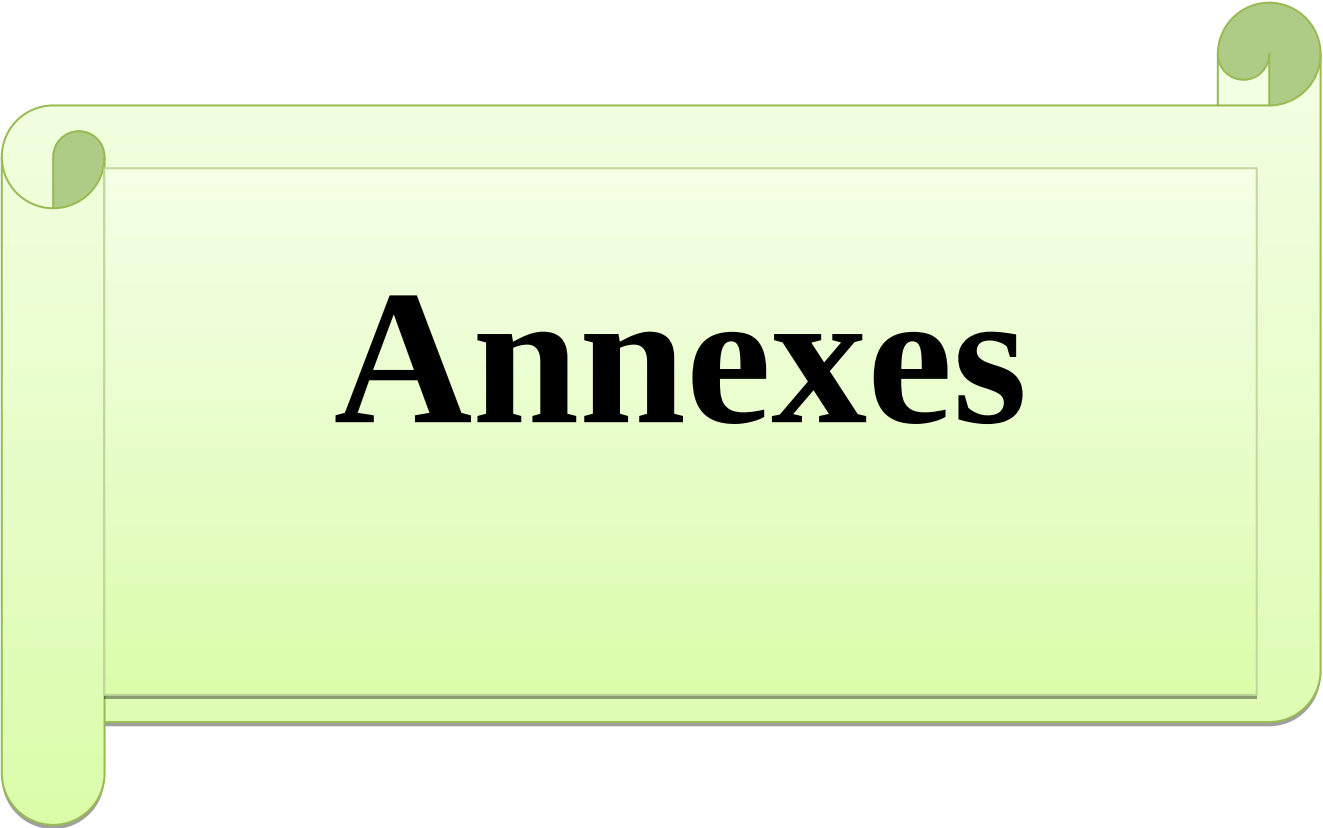
- ✓ B, J. (p21, 2010.). Le SOJA. Retrieved from [www.sante-vivante.fr](http://www.sante-vivante.fr)
- ✓ B.Ouarda, I. Y. (2012). Contrôle des paramètres physico-chimiques des deux huiles soja et tournesol Chimiquement raffinées. (Mémoire de Fin de Cycle), Université Abderrahmane MIRA de Bejaia Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie,
- ✓ Barnwal, B., Sharma, M. J. R., & reviews, s. e. (2005). Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India.9(4), 363-378.
- ✓ Boubekur, B. C. G. (2016). Evaluation de l'activité antioxydante et antimicrobienne de l'extrait éthanolique du Cedrus atlantica et essais de son incorporation dans l'huile de soja. (Mémoire de Master), Université Abderrahmane Mira de Béjaia,
- ✓ Chakrabarti, P., & Prasad, R. (2012). Biodiesel production from Jatropha curcas oil. In Jatropha, challenges for a new energy crop (pp. 463-490): Springer.
- ✓ Diakité, A. (2018). Extraction et caractérisation des extraits cireux de graines de Jatropha curcas pour application biopesticide.
- ✓ Gunstone, F. (2009). The chemistry of oils and fats: sources, composition, properties and uses: John Wiley & Sons.
- ✓ Hamza, B., & Riad, B. A. (2013). Mise en valeur des huiles de soja.
- ✓ KERRAS, H., MEROUANI, R., NEKKAB, C., OUTILI, N., & MENIAI, A. (12/2018). Optimization of the frying oil waste transesterification reaction time to biodiesel.
- ✓ Labat, É. (2013). Le soja: influence de sa consommation sur la santé humaine et conséquences de l'expansion de sa culture au niveau mondial.
- ✓ Lambert, J. J. I. f. d. h. v. p.-I. (2005). Les huiles végétales: 2 000 plantes oléagineuses répertoriées. 5-22.
- ✓ Lang, A., & Elhaj, H. F. A. (2013). Jatropha Oil Production for Biodiesel and Other Products.
- ✓ LATIFA, E.-Z. (2014). Processus de préparation et d'extraction d'huile de soja et les analyses du tourteau. (Stage effectué à la société HSB (LOUSRA)), Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Retrieved from [www.fst-usmba.ac.ma](http://www.fst-usmba.ac.ma)
- ✓ Roulier, A. (février 2012). Le soja ou soya : aliment-santé durable. Retrieved from <http://www.naturemania.com/bioproducts/soja.html>, <http://www.naturemania.com/bioproducts/soja.html>

- ✓ Rousset, P. (2008). Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales.
- ✓ Sabiha, H. (2016). Production de l'huile de Soja et ces analyses physico-chimiques. (Mémoire de Master), Université A. MIRA - Béjaïa,
- ✓ Van, C. N. (2010). Maîtrise de l'aptitude technologique des oléagineux par modification structurelle: applications aux opérations d'extraction et de transestérification in-situ.
- ✓ Wahiba, B. (2015). Etude comparative de la valeur nutritionnelle des produits de soja vert et jaune. (Master), Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana,
- ✓ Yacouba, S. (Juillet 2017). Etude de l'efficacité biologique de l'herbicide SELEKAM– soja (Fluazyfop-p-butyl 12 g/l EC) sur les adventices du soja (Glycine max (L.) Merr.) et ses effets sur les propriétés agrochimiques du sol. (DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL), UNIVERSITE NAZI BONI (UNB),
- ✓ Akbar, E., Yaakob, Z., Kamarudin, S. K., Ismail, M., & Salimon, J. J. E. j. o. s. r. (2009). Characteristic and composition of Jatropha curcas oil seed from Malaysia and its potential as biodiesel feedstock feedstock. *European journal of scientific research*, 29(3), 396-403.
- ✓ Alloune, R., Liazid, A., & Tazerout, M. J. R. d. é. R. S., Ghardaïa. (2012). Etudes comparatives de deux plantes oléagineuses locales pour la production du biodiesel en Algérie. 19, 22.
- ✓ ANNOU, H., & CHIBANI, A. (2016). *Synthèse de biodiesel d'une algue verte*. (Mémoire de MASTER ACADEMIQUE), UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA,
- ✓ BENBADA, M. (27 novembre 2011). MÉTHODES OFFICIELLES D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES RELATIVES AUX CORPS GRAS D'ORIGINE ANIMALES ET VÉGÉTALES. *JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE*, N° 64, 01-28.
- ✓ Bettahar, Z., Cheknane, B., & Boutemak, K. J. R. d. E. R. (2016). Etude de la transestérification d'un mélange des huiles usagées pour la production du biodiesel. 19(4), 603-613.
- ✓ Bulletin, A. ( 2008). Les biocarburants – Le biodiesel. *Lycée d'enseignement général et technologique du pas de calais*, p37.

- ✓ Cassiday, L. J. I.-I. N. O. F., OILS, & MATERIALS, R. (2017). China's evolving edible oils industry. 28(4), 6-11.
- ✓ Chapuis, A., Blin, J., Codina, V., Ensinas, A., & Lecomte, D. (2013). Performances technico-économiques des procédés de production de biocarburants à partir de Jatropha. Paper presented at the 4ème CONFÉRENCE BIOCARBURANTS BIOÉNERGIES.
- ✓ Devaraj, A. J. I. J. o. P. R., & Sciences, A. (2013). The Effect of Biofertilizer application on Chemical composition of oil from Micropropagated Jatropha curcas L. seeds. 2(4), 42-50.
- ✓ Freedman, B., & Bagby, M. J. J. o. t. A. O. C. S. (1989). Heats of combustion of fatty esters and triglycerides. 66(11), 1601-1605.
- ✓ Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H. J. J. o. b., & bioengineering. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. 92(5), 405-416.
- ✓ Ghnimi, W. (2015). Étude phytochimique des extraits de deux Euphorbiaceae: Ricinus communis et Jatropha curcas. Évaluation de leur propriété anti-oxydante et de leur action inhibitrice sur l'activité de l'acétylcholinestérase.
- ✓ Goering, C., Schwab, A., Daugherty, M., Pryde, E., & Heakin, A. J. T. o. t. A. (1982). Fuel properties of eleven vegetable oils. 25(6), 1472-1477.
- ✓ Khiari, K. (2016). Contribution à l'étude des propriétés thermo-physiques des biocarburants de seconde génération et leur influence sur le comportement des moteurs.
- ✓ Koh, M. Y., Ghazi, T. I. M. J. R., & reviews, s. e. (2011). A review of biodiesel production from Jatropha curcas L. oil. 15(5), 2240-2251.
- ✓ Mittelbach, M., & Remschmidt, C. J. M., Vienna. (2004). Biodiesel: The Comprehensive Handbook, Boersdruck Ges.
- ✓ Mohamed, H. I., Bol, M. B., Bhattacharya, T. J. J. o. S., & Technology. (2005). STUDIES ON COMPATIBLE FUEL PROPERTIES OF SOYBEAN ETHYL ESTER AND ITS BLENDS WITH DIESEL FOR FUEL USE IN COMPRESSION IGNITION ENGINES. 6(2), 0-0.
- ✓ MOSTEFA, K. J. M. d. M. d. B. S. N., Activité Biologique et Synthèse. Université Abou BAKKR BELKAID-TLEMCEM. 105p. (2011). Contribution à l'étude de l'analyse de l'huile de Citrullus colocynthis (Coloquinte) et de son pouvoir antimicrobien. (MEMOIRE DE MAGISTER DE BIOLOGIE Substances Naturelles,

Activité Biologique et Synthèse), Université Abou BAKKR BELKAID-TLEMSEN. 105p,

- ✓ Mullins, P. J. D. P. E., & DRIVES. (1994). New research focuses on identifying fuel properties that influence emissions. *60*(9), 94-&.
- ✓ Pantzaris, T. J. P. T. (1985). The density of oils in the liquid state. *12*.
- ✓ Parawira, W. J. S. R., & Essays. (2010). Biodiesel production from *Jatropha curcas*: A review. *5*(14), 1796-1808.
- ✓ Patil, P. D., & Deng, S. J. F. (2009). Optimization of biodiesel production from edible and non-edible vegetable oils. *88*(7), 1302-1306.
- ✓ Ramos, M. J., Fernández, C. M., Casas, A., Rodríguez, L., & Pérez, Á. J. B. t. (2009). Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *100*(1), 261-268.
- ✓ Rao, Y. H., Voleti, R. S., Hariharan, V., Raju, A. S. J. I. J. o. A., & Engineering, B. (2008). *Jatropha* oil methyl ester and its blends used as an alternative fuel in diesel engine. *1*(2), 32-38.
- ✓ Sarin, R., Sharma, M., Sinharay, S., & Malhotra, R. K. J. F. (2007). *Jatropha*–palm biodiesel blends: an optimum mix for Asia. *86*(10-11), 1365-1371.
- ✓ Sayyar, S., Abidin, Z. Z., Yunus, R., & Muhammad, A. J. A. J. o. A. S. (2009). Extraction of oil from *Jatropha* seeds-optimization and kinetics. *American Journal of Applied Sciences*, *6*(7), 1390.
- ✓ Schuchardt, U., Sercheli, R., & Vargas, R. M. J. J. o. t. B. C. S. (1998). Transesterification of vegetable oils: a review. *9*(3), 199-210.
- ✓ Tiwari, A. K., Kumar, A., Raheman, H. J. B., & bioenergy. (2007). Biodiesel production from *jatropha* oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: an optimized process. *31*(8), 569-575.
- ✓ A. Silitonga, A. Atabani, T. Mahlia, H. Masjuki, I.A. Badruddin, S.J.R. Mekhilef, S.E. Reviews, (2011). A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia, (15) 3733-3756.
- ✓ A.L.d.V. Moreira, (2009). Produção de biodiesel a partir de gordura de frango.
- ✓ O.M. Taha, K.S. Tawfiq, S.M.J.M.J.J.O.E. Jarullah, SCIENCE, (2019). Preparation of biodiesel fuel from *Urtica dioica* seeds oil and study different Properties, (28), 33-47.



# **Annexes**

## Annexe1

**Tableau.1** : spécification ASTM D 6751– 02 et EN 14214 pour le biodiesel B100  
(Silitonga et al, 2011).

| Propriétés                 | ASTM D 6751                |               | EN 14214                       |                             |
|----------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------------|-----------------------------|
|                            | Limite                     | Méthode       | Limite                         | Méthode                     |
| <b>Densité à 15 °C</b>     | 870–890 kg/m <sup>3</sup>  | ASTM D4052-91 | 860–900 kg/m <sup>3</sup>      | EN ISO 3675<br>EN ISO 12185 |
| <b>Viscosité à 40 °C</b>   | 1.9–6.0 mm <sup>2</sup> /s | ASTM D445     | 3.5–5.0 mm <sup>2</sup> /s     | EN ISO 3140                 |
| <b>Point d'écoulement</b>  | -                          | D97           | -                              | -                           |
| <b>Indice de cétane</b>    | 47 (minimum)               | ASTM D613     | 51(minimum)                    | EN ISO 5165                 |
| <b>Indice d'acide</b>      | 0.50 mg KOH/g<br>maximum   | ASTM D664     | 0.50 mg KOH/g<br>(maximum)     | EN 14104                    |
| <b>Indice d'iode</b>       | -                          | -             | 120 g diode/100<br>g (maximum) | EN 14111                    |
| <b>Pouvoir calorifique</b> | -                          | D4239         | -                              | -                           |
| <b>Nombre d'Aster</b>      | -                          | -             | 96.5                           | EN 14103                    |

**Tableau.2** : les principales caractéristiques de **Méthanol**(Hanane et Amina, 2015).

|                                        |                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Température de fusion</b>           | -97.8°C                                                                                                                                                           |
| <b>Température d'ébullition</b>        | 64.5°C                                                                                                                                                            |
| <b>Densité (d<sup>20</sup>)</b>        | 0.791 g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                           |
| <b>Température d'auto inflammation</b> | 464°C                                                                                                                                                             |
| <b>La masse molaire</b>                | 32.04g/mol                                                                                                                                                        |
| <b>Moment dipolaire</b>                | 1.70 ± 0.02D                                                                                                                                                      |
| <b>Fiche de sécurité</b>               | <div style="text-align: center;">  <p>H225, H301, H311, H331, H370</p> </div> |

**Tableau.3** : les principales caractéristiques de **NaOH**(Hanane et Amina, 2015).

| Former brute                 | NaOH                                                                                        |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Masse molaire                | 39,9971 g/mol                                                                               |
| T° fusion                    | 318°C                                                                                       |
| Solubilité dans l'eau à 20°C | 1 090 g. l-1                                                                                |
| Masse volumique              | 2,1 g. cm-3                                                                                 |
| Fiche de sécurité            | <br>H314 |

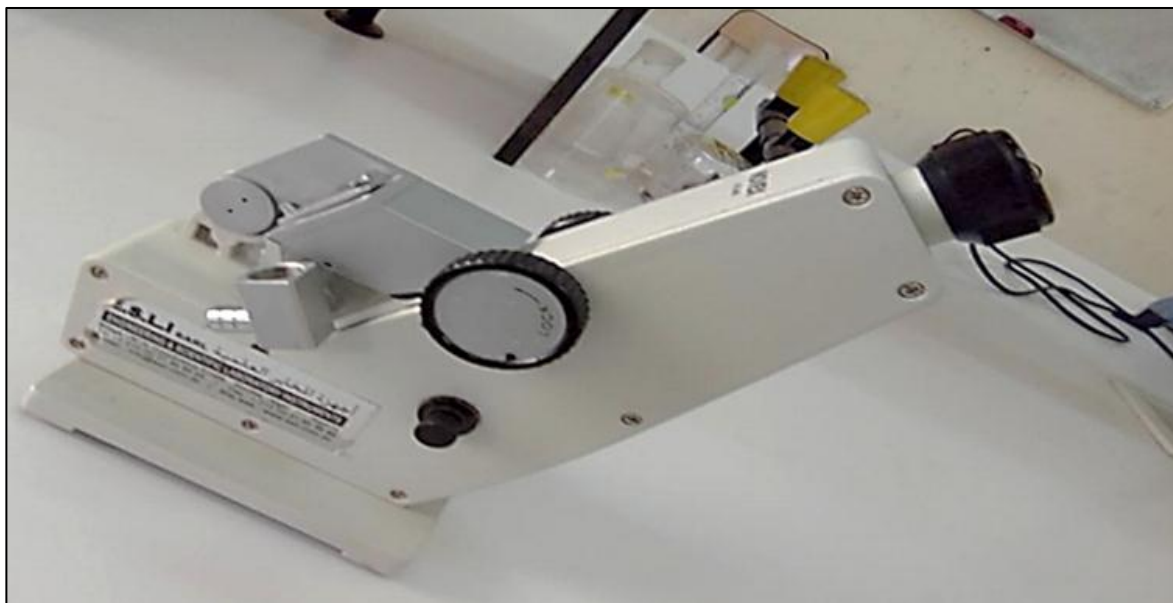
**Tableau.4** : Propriétés physiques de l'éthanol(Mohamed, 2008).

| Masse molaire | Point de fusion | Point d'ébullition | Densité | Densité de vapeur |
|---------------|-----------------|--------------------|---------|-------------------|
| 46,07         | - 114 °C        | 78,5 °C            | 0,789   | 1,59              |

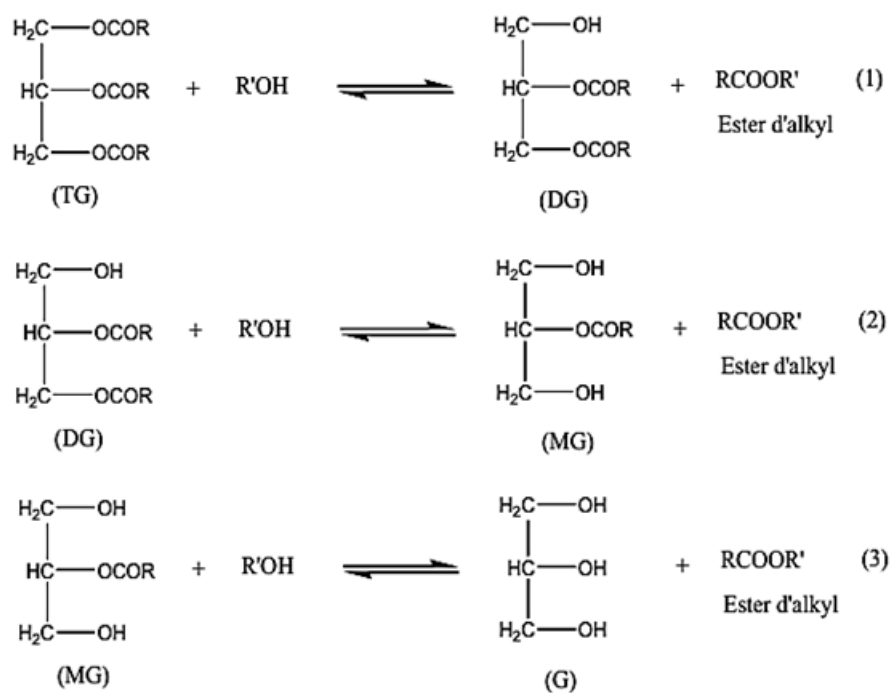
**Tableau.5** : les principales caractéristiques de **KOH**(Cuong Nguyen Van, 2011).

| Formule chimique      | KOH                                                                                                                                                                             |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Point d'ébullition °C | 1320                                                                                                                                                                            |
| Masse molaire g/mol   | 56.10564                                                                                                                                                                        |
| Densité g/mol         | 2.044                                                                                                                                                                           |
| Fiche de sécurité     |  C  Xi |

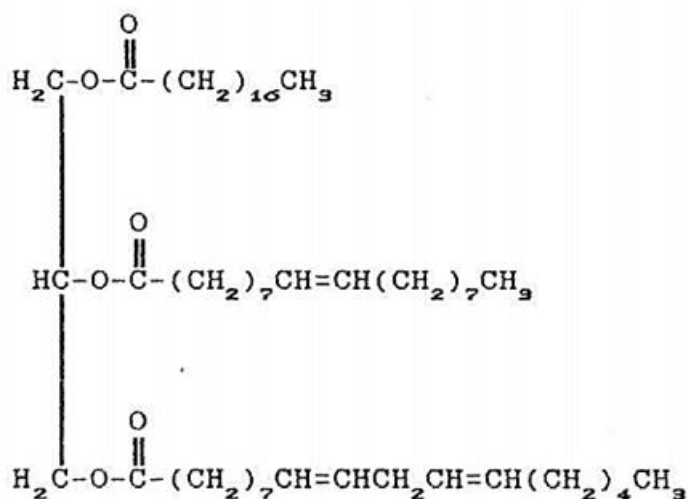
## Annexe 2



**Fig.1** : le réfractomètre (sana et khaoula, 2019).

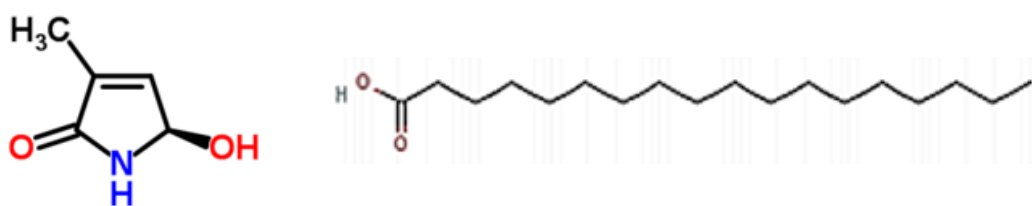


**Fig.2** : trois étapes successives de la réaction de transestérification (Berna, 2012).



**Fig.3** : Structure moléculaire de l'huile de jatropha curcas brute (Henry, 2015).

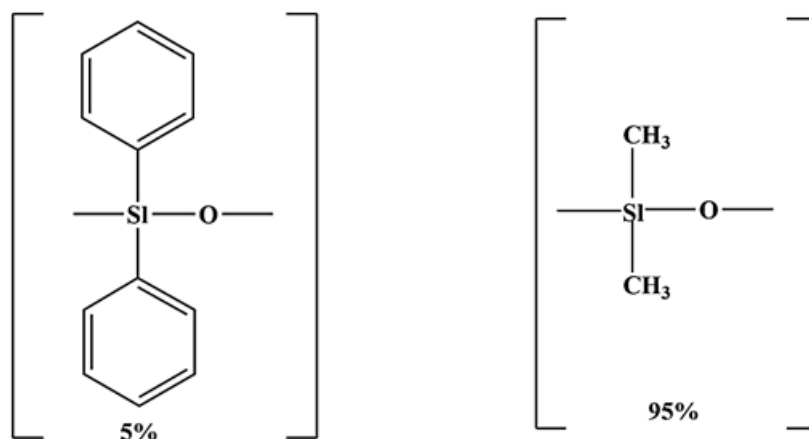
La **jatrophine** est un alcaloïde contenu dans le latex du jatropha curcas et qui passe pour avoir des propriétés anti-tumorales.



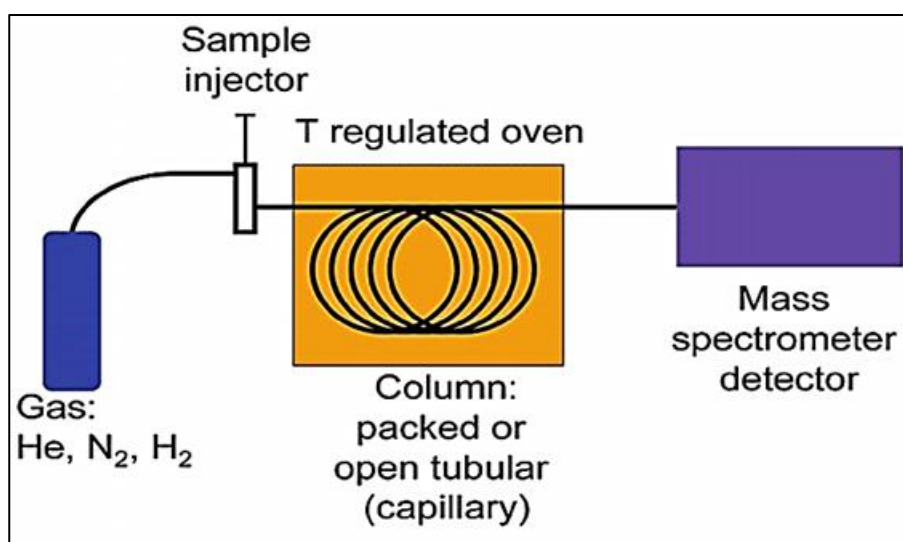
**Fig.4** : structure chimique de jatrophine (THAMIZHSELVI et al, 2015).



**Fig.5** :Un pycnomètre (Léger, intuitif et robuste).



**Fig.6 :**Structure de la colonne utilisée : (5% Diphényle-95% Diméthyle polysiloxane)  
(DOUNYAZAD et KADDOUR, 2015).



**Fig.7 :** Diagramme schématique montrant le chromatographe en phase gazeuse GC-MS  
(Nasser & Schumann, 2019-2020).